



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

Výroba fixačního členu

Production of the fixing element

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Robert HŘEBÍČEK

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Ing. Zdeněk LIDMILA, CSc.

BRNO 2014

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie
Akademický rok: 2013/2014

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Robert Hřebíček

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojírenská technologie (2303R002)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Výroba fixačního členu

v anglickém jazyce:

Production of the fixing element

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Jedná se o návrh technologie výroby fixačního členu, což je ohýbaný výlisek z ocelového plechu tloušťky 3 mm. Řešená součástka je prostorového tvaru o rozměrech 135x125x44 mm s několika ohyby, bude vyráběna technologií stříhání a ohýbání. Na tuto problematiku bude také zaměřena literární studie.

Cíle bakalářské práce:

Práce bude obsahovat rozbor současného stavu, porovnání možných způsobů výroby se zhodnocením jejich vhodnosti a nevhodnosti. Na základě analýzy možných výrobních postupů bude vybrána optimální technologie výroby. Pro zvolenou technologii bude provedena aktuální literární studie, následovat bude návrh výroby doložený nezbytnými technologickými a kontrolními výpočty. Součástí řešení bude i nezbytná výkresová dokumentace, technicko-ekonomické hodnocení a závěry.

Seznam odborné literatury:

1. MARCINIAK, Zdislaw, J.L. DUNCAN and S.J. HU. Mechanics of Sheet Metal Forming. 2.ed. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2002. 211 s. ISBN 07-506-5300-00.
2. HOSFORD, William F. and Robert M. CADDEL. Metal Forming: Mechanics and Metalurgy. 3th ed. New York: Cambridge University Press, 2007. 365 s. ISBN 978-0-521-88121-0.
3. FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. Teorie obrábění, tváření a nástroje. 1. vyd. Brno: Akademické vydavatelství CERM, s. r. o., 2006. 217 s. ISBN 80-214-2374-9.
4. LIDMILA, Zdeněk. Teorie a technologie tváření I. 1.vyd. UO Brno. 2008. 105 s. ISBN 978-80-7231-579-6
5. NOVOTNÝ, Karel. Tvářecí nástroje. 1. vyd. Brno: Nakladatelství VUT v Brně, 1992. 186 s. ISBN 80-214-04016.
6. FREMUNT, P., J. KREJČÍK a T. PODRÁBSKÝ. Nástrojové oceli (odborná kniha). 1. vyd. Brno: Dům techniky. 1994. 230 s.

Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Zdeněk Lidmila, CSc.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2013/2014.

V Brně, dne 11.11.2013

L.S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

HŘEBÍČEK Robert: Výroba fixačního členu.

Fixační člen upevňuje filtrační klece k filtru. Pro výrobu toho členu byla použita konstrukční ocel 11 373 o tloušťce 3 mm. Výrobnost je odhadnuta na 24 000 ks/rok. Z mnoha možných výrobních technologií byla vybrána metoda stříhání s následným ohybem. Jelikož nelze všechny operace sdružit do nástroje, jsou prováděny postupně. Pro všechny kroky byly provedeny konstrukční a technologické výpočty, ze kterých byly sestaveny přípravky. Pro výrobu bylo využito stojní vybavenosti firmy (lis LEXN 100C a strojních nůžek NTE). Rovněž byly spočteny náklady na výrobu a graficky znázorněn roční zisk. Výroba se stává ziskovou po vyrobení 16 843 ks/rok.

Klíčová slova

Materiál 11 373, stříhání, ohýbání, nástřihový plán, lis LEXN 100C.

ABSTRACT

HŘEBÍČEK Robert: Production of the fixing element.

Fixation element consolidates filtration cage to filter. For production of this element 3 mm thick steel 11 373 was used. The production is estimated to 24 000 pieces per year. From many different possible production technologies the method of cutting followed-up by bending was chosen. Since it is impossible to implement these methods into one tool it is carried out step by step. For all steps the construction and technological calculations were carried out and from them templates were formed. For production was used company equipment (press LEXN 100C, shears NTE). Also production costs were calculated and annual profit was graphically represented. The production is profitable since 16 843 pieces are made per year.

Key words

Material 11 373, cutting, bending, notching plan, press LEXN 100C.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

HŘEBÍČEK, Robert. *Výroba fixačního členu*. Brno 2014. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. 44 s., 6 výkresů, CD. Doc. Ing. Zdeněk Lidmila, CSc.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Výroba fixačního členu vypracoval(a) samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

Datum

Robert Hřebíček

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu práce doc. Ing. Zdeňku Lidmilovi, CSc., vedení firmy CIPRES FILTR BRNO s.r.o. a rodině za cenné rady a připomínky při vypracování bakalářské práce.

OBSAH

Zadání

Abstrakt

Bibliografická citace

Čestné prohlášení

Poděkování

Obsah

ÚVOD	9
1 ROZBOR PROBLÉMU	10
1.1 VÝROBNÍ MOŽNOSTI	11
1.2 VYHODNOCENÍ VÝROBNÍCH MOŽNOSTÍ	13
2 TECHNOLOGIE STŘÍHÁNÍ	14
2.1 PRŮBĚH STŘIHU	14
2.2 STŘIŽNÁ VŮLE	14
2.3 STŘIŽNÁ SÍLA A PRÁCE	15
2.4 STŘIŽNÉ NÁSTROJE	16
2.4.1 NORMALIZOVANÉ DÍLY NÁSTROJŮ	17
3 TECHNOLOGIE OHÝBÁNÍ	19
3.1 PRŮBĚH OHYBU	20
3.2 NEUTÁLNÍ OSA	21
3.3 SÍLA A PRÁCE	22
3.4 OHÝBACÍ NÁSTROJE	22
4 NÁVRH VÝROBY FIXAČNÍHO ČLENU	23
4.1 NÁSTŘIHOVÝ KROKOVÝ PLÁN	24
4.2 POSTUP VÝROBY	26
4.3 VÝPOČET PRÁCE A SIL PRO STŘIH	29
4.4 VÝPOČET PRÁCE A SIL PRO OHYB	30
4.5 ROZBOR POUŽITÝCH NÁSTROJŮ	31
4.6 VOBLA LISU A STOJNÍCH NŮŽEK	32
5 TECHNICKO – EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ	35
6 ZÁVĚRY	39

Seznam použité literatury

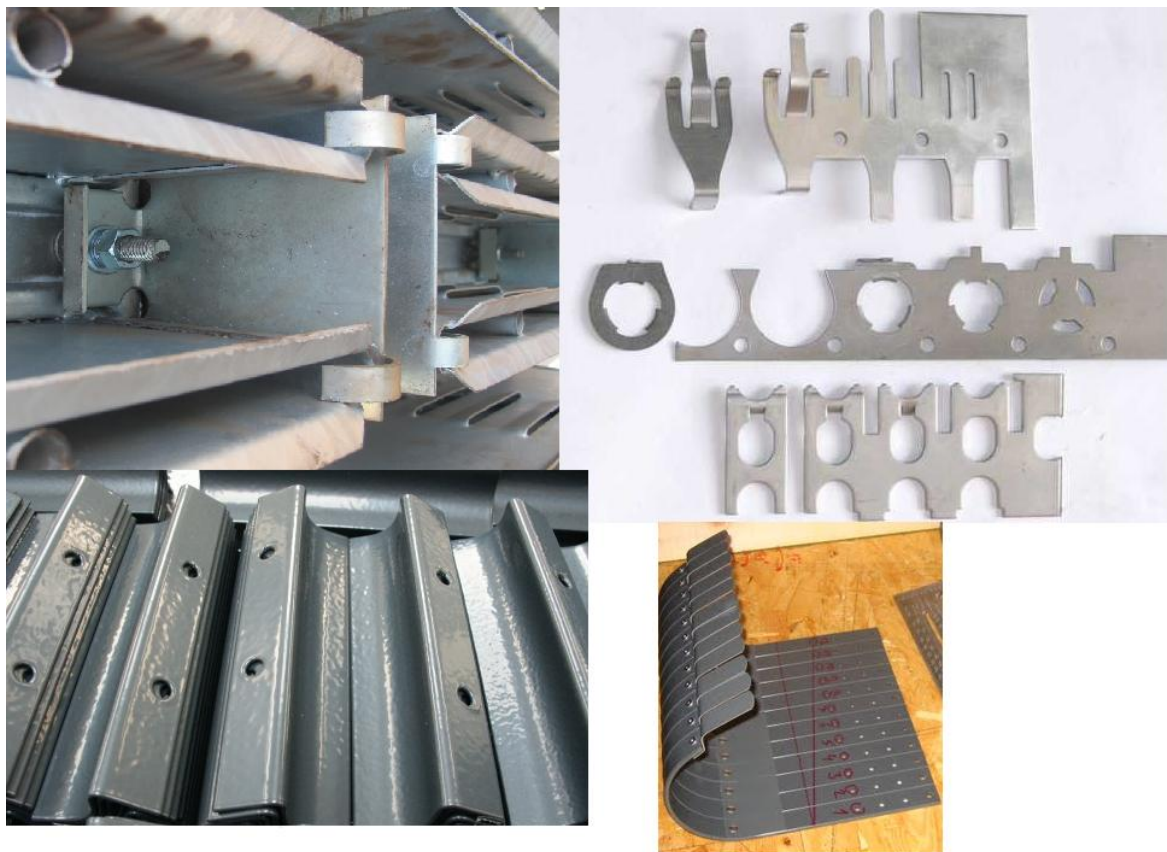
Seznam použitých zkratk

Seznam výkresové dokumentace

ÚVOD [7], [8], [11]

Současný rozvoj ve strojírenství zahrnuje nespočet výrobních možností pro výrobu jakéhokoli tvaru součásti, např. plošné a objemové stříhání, konvenční a nekonvenční obrábění a v neposlední řadě odlévání. Záleží pouze na kreativě zadavatele a technologičnosti výroby. Vzhledem k tomu, že výroba by měla být vždy co nejpřesnější a nejlevnější, výrobce musí zvážit optimální kombinaci použitých technologií, aby dosáhl požadovaných kritérií. Při volbě technologií se musí také uvažovat rychlost a efektivita výroby, počet vyráběných kusů a použitý materiál.

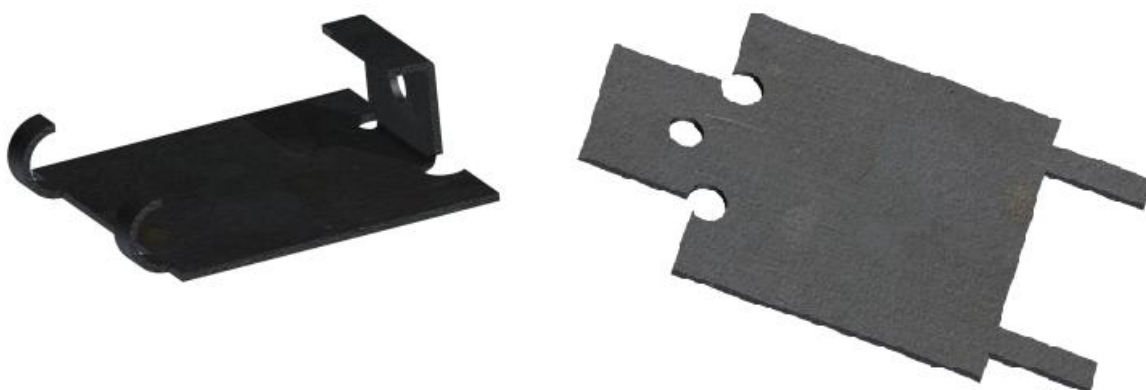
Práce se dle zadání zabývá výrobou fixačního členu za použití technologie plošného tváření. Úkolem bylo nalézt nejvhodnější metodu výroby fixačního členu, který je využíván k upevnění filtračních klecí k filtračnímu boxu. Jelikož se hledí spíše na funkčnost výrobku, než na vzhled a musí se dodržet všechny výrobní kritéria, tak byly zvoleny metody, které jsou spolu spjaté, a to stříhání s následným ohýbáním. Tato cesta výroby se jeví jako nejlevnější a nejvhodnější pro výrobu. Na obr. 0.1 jsou zobrazeny výrobky, které jsou vyráběny právě těmito metodami.



Obr. 0.1 Díly vyráběné stříháním s následným ohýbáním [8]

1 ROZBOR PROBLÉMU [4], [8], [12], [20], [27]

Práce pojednává o výrobě fixačního členu metodami stříhání a ohýbání. Díl na obr. 1.1 je vyráběn z plechu o tloušťce 3 mm. Celkový počet vyrobených dílů je 24 000 ks/rok. Jelikož je díl využíván během celého roku, výroba byla rozdělena na 6 sérií po 4 000 kusech. Pro výrobu nebyla zvolena žádná tolerance, tudíž celá součást je tolerována dle DIN ISO 2768 – MK. Díl slouží k upevnění filtračních klecí k filtračnímu boxu. V “hlavě” fixačního členu je vystříhnuta díla pro šroub. Ten drží vyráběný díl a filtrační box. “Nožičky” vyráběné součásti zachytí filtrační klece a tak zabrání pohybu klecí při chodu filtru. Pro výrobu jednoho filtru je použito 40 – 70 ks filtračních členů. Počet ovlivňuje velikost filtru.



Obr. 1.1 Vyráběný díl

Práce vznikla ve spolupráci s firmou CIPRES FILTR BRNO s.r.o., která vyrábí průmyslové odsávání pro filtraci vzduchu do prašných provozů. Většina požadovaných dílů do odsávání si firma vyrábí samostatně, např. Fixační člen, na který je zaměřena práce. I díky tomuto se firma řadí mezi největší firmy v Evropě v odvětví vzduchotechniky a filtraci vzduchu s plněním hygienických norem a předpisů.

Řešená součást je vyráběna ze dvou typů materiálu. Podle potřeba zákazníka je volen buď materiál 11 373 (konstrukční, nelegovaná ocel) nebo materiál 17 240 (konstrukční, legovaná ocel), vlastnosti obou materiálů jsou v tab. 1.1 a chemické složení jsou uvedeny v tab. 1.2.

Tab. 1.1 Mechanické vlastnosti ocelí

Mechanické vlastnosti materiálů			
Tloušťka 3 mm	Mez kluzu Re [MPa]	Mez pevnosti Rm [MPa]	Tažnosti A [%]
Ocel 11 373	186	340 - 440	20
Ocel 17 240	210	520 - 720	45

Tab. 1.2 Chemické složení ocelí

Chemické složení									
Max	C [%]	Mn [%]	P [%]	S [%]	N [%]	Cr [%]	Ni [%]	Mo [%]	Si [%]
Ocel 11 373	0,17	-	0,045	0,045	0,007	-	-	-	-
Ocel 17 240	0,06	2	0,045	0,03	-	17	12	2	1

1.1 VÝROBNÍ MOŽNOSTI [7], [14], [15], [24], [25]

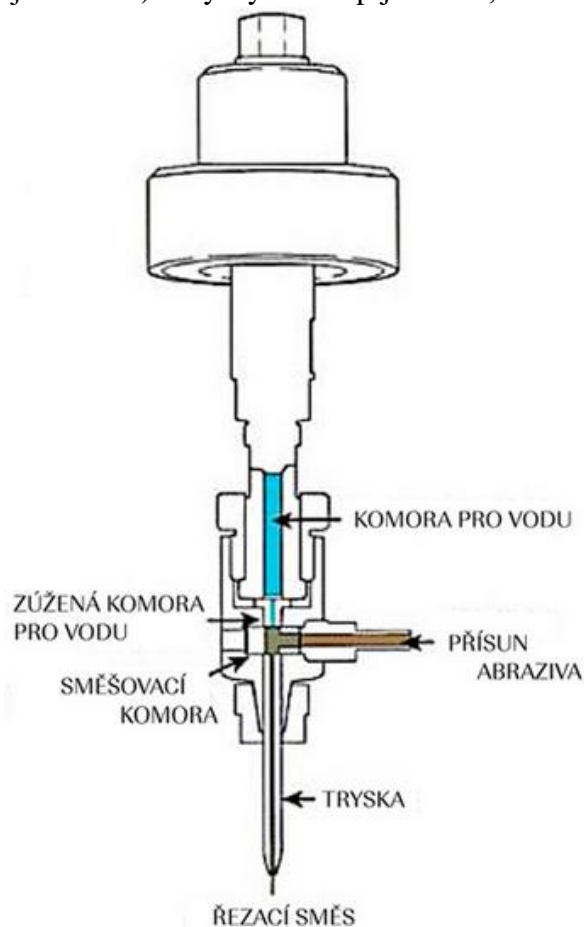
Kapitola obsahuje několik odlišných možností výroby součástí. Pro zvolení nejlepší metody je nutné zvážit několik zásadních faktorů ovlivňujících výrobu např. jakost povrchu a výrobní cena součástí. Pro přiblížení je zde několik metod výroby:

- Vodní paprsek s následným ohybem

Řez probíhá tlakem vody (buď s příměsí, nebo jen vodou) z trysky. Princip je v tom, že ve vysokotlakém čerpadle se stlačí voda na pracovní tlak 500 – 4000 barů (40 – 500 MPa), tzn. voda je stlačena až o 13 %, a potom se voda vháší do řezací hlavy. Tam se pomocí abrazivní trysky usměrní na vodní paprsek o průměru 0,15 – 2 mm. Pro měkké materiály stačí pouze vodní paprsek, v případě tvrdších materiálu jako je např. ocel se procesu přidává abrazivo (křemičitý písek). Rychlost pohybu hlavy je řízena počítačově a kvalita řezu závisí právě na rychlosti řezání a tloušťce materiálu. Pokud je materiál příliš tlustý, tak na spodní části materiálu dochází k vlnění a plocha nemá požadující kvalitu.

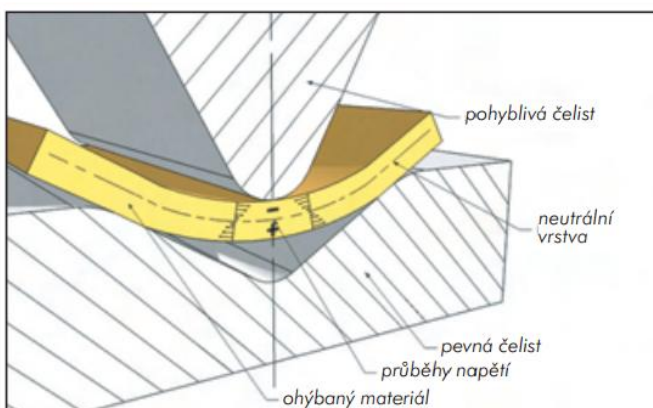
Výhodou použití této technologie je přesnost, relativní rychlost procesu a nedochází k tepelnému ovlivnění v okolí řezu. Dnes vodní paprsky dosahují přesnosti až $\pm 0,04$ mm. Nevýhoda je, že může dojít k povrchové korozi a cenové náklady pro provoz jsou relativně nákladné.

Po vystřížení vodním paprskem následuje další operace a to ohýbání součástí. Ohýbání je proces tváření, v němž při překročení elastické deformace dochází k trvalému ohybu součástí. Celý proces probíhá v nástroji, který je složen z ohybnice a ohybníku a je viditelný na obr. 1.3. Nevýhodou je,



Obr. 1.2 Vodní paprsek [24]

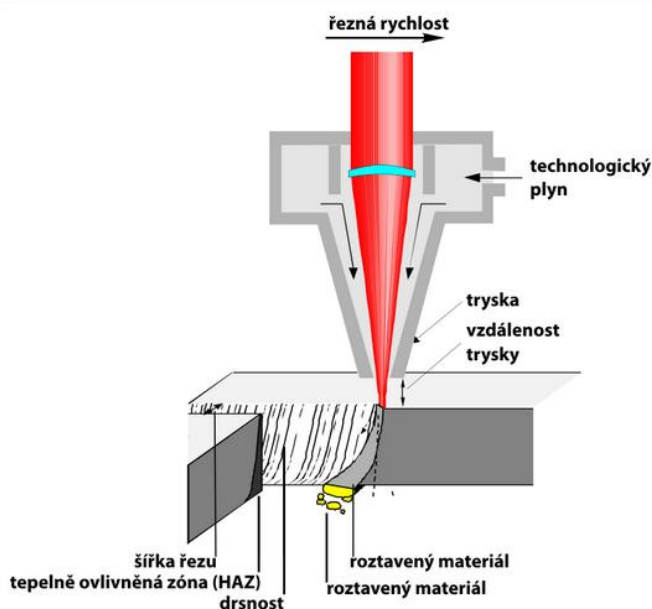
že během ohýbání dochází k odpružení materiálu, protože během ohýbání se objevuje plastická i elastická složka. Tento jev se nazývá pružně plastická deformace.



Obr. 1.3 Průběh ohybu [1]

- Laser s následným ohybem

Laser pracuje na principu záření na atom prvku. Laser na obr. 1.3 je světelný paprsek, který se šíří různou rychlostí v odlišném prostředí. Podle aktivního prostředí se rozlišují tři základní typy laserů (plynové, pevnolátkové a polovodičové). Plynové lasery pracují s CO_2 plynem a jsou nejrozšířenější pro řezání pevného materiálu, protože mají nejsilnější vlnovou délku, a to $10,6 \mu\text{m}$. Takové lasery zvládnou uřezat tloušťku materiálu okolo 25 mm . Pevnolátkové lasery mají vlnovou délku kolem $1,064 \mu\text{m}$. To nám dovolí řezat daleko menší rozměry materiálu. V porovnání s plynovým laserem mají daleko menší spotřebu energie a menší tepelně ovlivněnou oblast v okolí řezu.



Obr. 1.4 Řezání laserem [14]

Během řezání laserem vzniká čistý řez, který je zapříčiněn vysokou teplotou. To nám umožňuje řezat libovolný profil materiálu např. kulatinu, plechy nebo hranaté profily, bez dalšího opracování.

Kvalitu řezu ovlivňuje rychlost řezu, tloušťka a druh materiálu a samotný výkon stroje. Po použití laseru musí být provedena další samostatná operace, jako tomu bylo u řezání vodním paprskem a to ohýbání. Postup bude naprosto stejný.

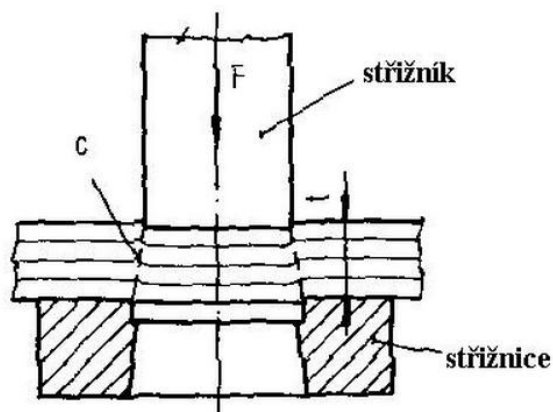
Firma sice vlastní plynový laser, ale série vyráběné součásti není moc vysoká a naopak náklady na chod stroje spolu s odpadem by byly příliš vysoké, tak ani tato metoda nebude použita.

- Stříhání s následným ohybem

Stříhání je jedna z nejstarších metod dělení materiálu vůbec. Stříhání je kroková operace a počet operací závisí na složitosti součásti. Máme dva typy stříhání (děrování, vystřihování). Děrování je tvoření otvorů v součásti a vystřihování je většinou poslední krok, který udává vnější rozměry výrobku. Výhodou je, že při stříhání nedochází k žádným tepelným změnám v okolí stříhu, ale záleží čistě na vlastnostech a tloušťce stříhaného materiálu. Během stříhu dochází k utržení materiálu, a proto se dosahuje pouze průměrné

přesnosti IT14 – IT 15. Pro zpřesnění stříhu se používají vodící stojánky, se kterými dosáhneme přesnosti IT8 – IT9. Rychlost dělení materiálu závisí na typu lisu a na počtu zdvihů beranu za minutu.

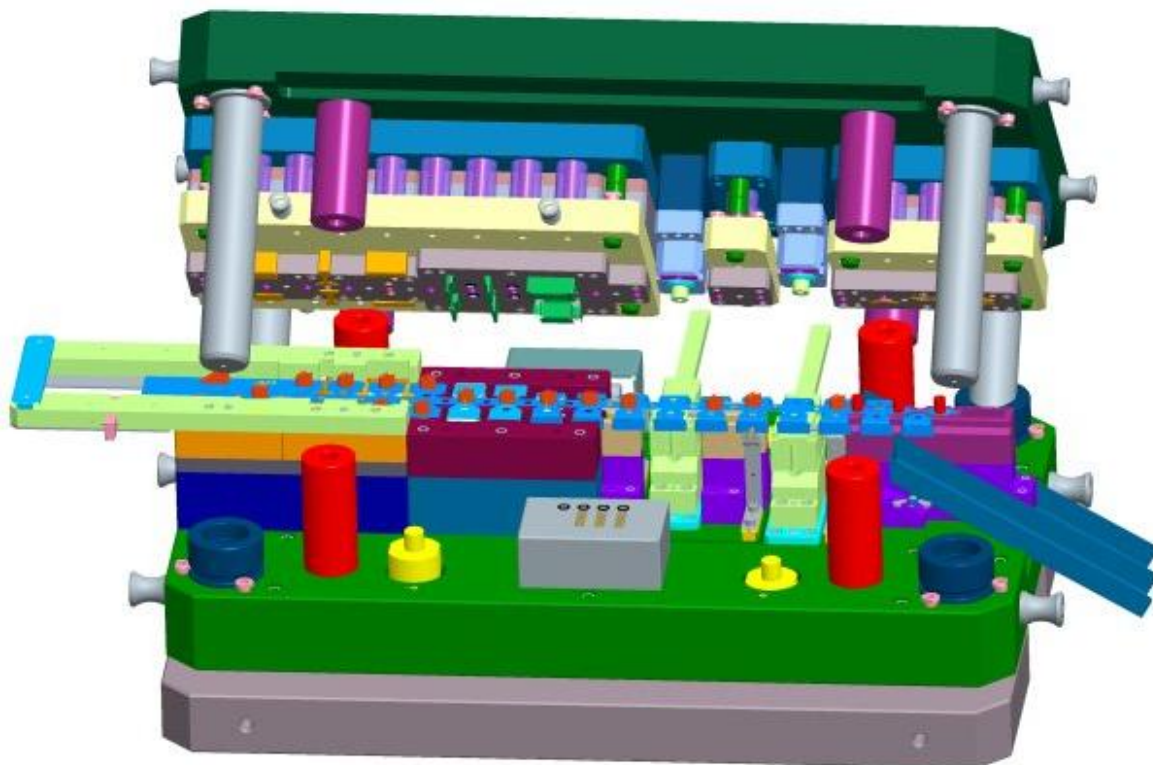
Po vystříhnutí dílu následuje ohyb. Výhodou je, že pokud následný ohyb není, příliš složitý, je možné vytvořit sdružený nástroj, který obě operace provede současně. Další výhodou je, že pořizovací ceny střížných nástrojů nejsou příliš vysoké.



Obr. 1.5 Střížný nástroj [19]

1.2 VYHODNOCENÍ VÝROBNÍCH MOŽNOSTÍ [11]

Po srovnání všechny možných variant pro výrobu zadané součásti s přihlédnutím na přesnost a funkčnost součásti byla jako neoptimálnější technologie zvolena stříhání s následným ohybem. Tento postup výroby se jeví jako nejlevnější cesta s nejnižším procentem odpadu. Vzhledem k úspoře materiálu, velikosti součásti a náročnosti ohybu nemůžou být operace prováděny v jednom sdruženém nástroji (obr. 1.6). Výroba proto bude rozdělena do samostatných kroků a právě na to je zaměřena praktická část práce.



Obr. 1.6 Sdružený střížný nástroj

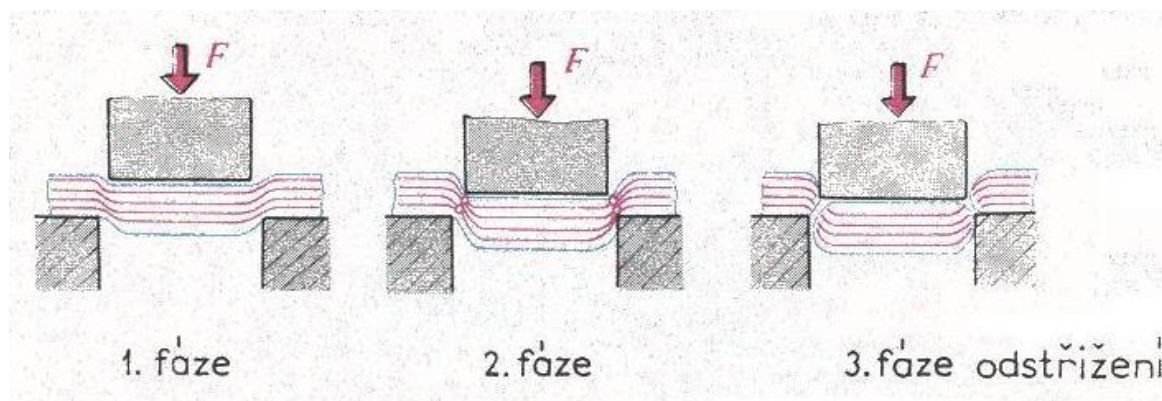
2 TECHNOLOGIE STŘÍHÁNÍ [2], [5], [9], [22]

Stříhání patří do skupiny plošně tvářené technologie a je základní operací dělení materiálu. Střih je zakončen lomem v ohnisku deformace. Ve stříhání se uplatňuje především vystřihování a děrování. Stříháním se v praxi dá zhotovit nespočet odlišných tvarů, které mohou být finálním produktem nebo se stávají polotovarem pro další zpracování, které na stříhání navazuje např. tažení nebo ohýbání, které je níže zpracováno.

Spoustu složitějších výrobků nelze vystřihnout najednou, ale vystřihují se buďto v postupovém stříhadle nebo ve více stříhadlech, tzn. z hlediska technologie stříhání a tvaru součásti zvolíme postup stříhání. Na postup stříhání má hlavní vliv velikost a složitost součásti, obvod výstřižku, vzájemná vzdálenost otvorů, tloušťka a volba materiálu.

2.1 PRŮBĚH STŘIHU [2], [9], [18], [19]

Materiál se odděluje postupně, pomocí dvou břitů, které vytváří střížné-smykové napětí. Na obr. 2.1 je nastíněn průběh tří základních fází stříhu. První fáze je po dosednutí střížníku na stříhaný materiál. Po dosednutí střížníku je mez kluzu v tahu malá a dochází k pružné deformaci.

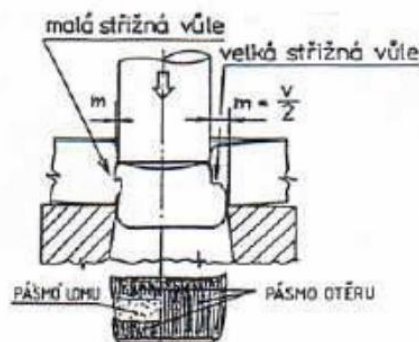


Obr. 2.1 Průběh stříhu [19]

Druhá fáze stříhu nastává v momentě překročení meze kluzu v tahu. V této fázi dochází k nevratné a trvalé deformaci materiálu. Třetí fázi stříhu můžeme rozdělit na dva kroky. Nejdřív vzniká nástřih a v momentě, kdy napětí v materiálu dosáhne meze pevnosti, se začínají vytvářet trhlinky, které jsou podporovány tahovým normálovým napětím. Ve finální fázi se začínají trhliny šířit a spojovat. Dojde k oddělení výstřižku. Rychlost oddělení materiálu a šíření trhlin závisí na mechanických vlastnostech stříhaného materiálu a v neposlední řadě na velikosti střížné vůle mezi střížníkem a střížnicí.

2.2 STŘÍŽNÁ VŮLE [5], [18], [19], [23]

Střížná vůle z velké části ovlivňuje kvalitu a průběh stříhu a životnost stříhadel. Pokud je střížná vůle normální (doporučená tabulková hodnota), často bývá v rozmezí 3 – 20 % stříhaného materiálu, tak se trhliny šíří rovnoměrně, v okamžiku stříhu se setkají a střížná plocha je bez otřepů. Pokud je střížná vůle velká nebo naopak malá výsledkem je potrhaná, nerovná plocha. Tento



Obr. 2.2 Velká a malá střížná vůle [19]

výsledek je viditelný na obr. 2.2. Pokud je střížná vůle příliš malá, tak se na střížné ploše objevují trhliny. Naopak při příliš velké střížné vůli se na střížné ploše objevují ostřiny od materiálu, který je vtahován střížníkem.

Na kvalitu stříhu má také vliv rychlost vniknutí střížníku do materiálu. Při malé rychlosti je stříhané pásmo širší a při velké rychlosti naopak menší. To se projeví i na šířce deformačně zpevněného pásma, což je patrné v obr. 2.3.

V praxi se střížná vůle vypočítá ze vztahu:

$$v = 2 \cdot c \cdot s \cdot \sqrt{0,1 \cdot \tau_s} \text{ [mm]} \quad (2.1)$$

Kde: v ... střížná vůle [mm],

c ... koeficient závislosti na požadavcích stříhání [-],

s ... tloušťka materiálu [mm],

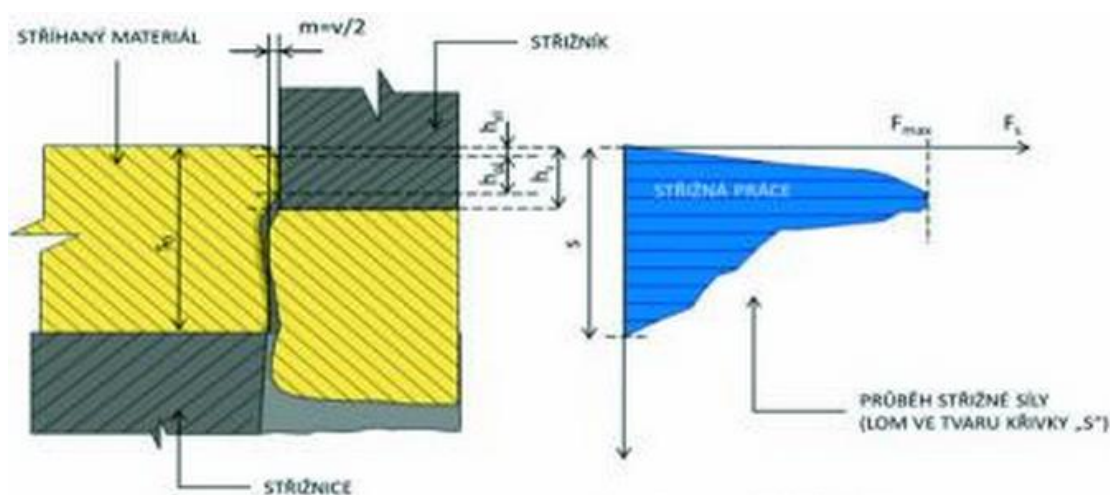
τ_s ... střížný odpor [-].

$$\tau_s = R_m \cdot 0,8 \text{ [-]} \quad (2.2)$$

kde: R_m ... mez pevnosti [MPa].

2.3 STŘIŽNÁ SÍLA A PRÁCE [1], [5], [18], [19], [22]

Na obr. 2.4 je znázorněn průběh střížné síly v závislosti na vniknutí střížníku do materiálu. Při dosednutí střížníku na materiál síla prudce vzroste a dochází k elastické deformaci, pak síla roste i v oblasti plastické deformace. Po nástřihu je viditelný mírný pokles síly, až nakonec dojde k úplnému lomu.



h_{el} ... elastická deformace, h_{pl} ... plastická deformace, h_s ... hloubka vniknutí střížníku

Obr. 2.4 Průběh střížní síly [1]

Velikost střížné síly se vypočítá podle vzorce:

$$F_s = n \cdot S_s \cdot \tau_s \text{ [N]} \quad (2.3)$$

kde: n ... koeficient opotřebení [-],
 S_s ... střížná plocha [mm²],
 F_s ... střížná síla [N].

Ze střížné síly se vypočítá vztah pro střížnou práci, která je určena plochou po křivce střížné síly. Vzorec pro práci:

$$A_s = k \cdot F_s \cdot s \text{ [J]} \quad (2.4)$$

kde: k ... součinitel hloubky vtlačení [-],
 A_s ... střížná práce [J].

Hodnoty u střížných odporů se mění po typu materiálu. Např. u ocelových plechů 250 – 400 MPa a u nerezových plechů to je 500 – 700 MPa.

2.4 STŘÍŽNÉ NÁSTROJE [2], [5], [23]

Stanovení rozměrů střížného nástroje vychází z požadavků na tvar střížné součásti.

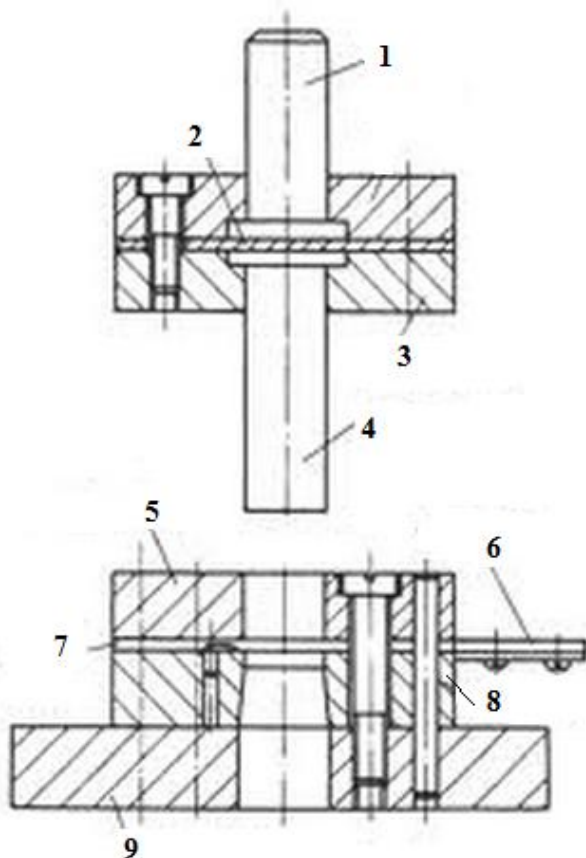
Nástroj musí být zkonstruován tak, aby vyhověl maximálnímu počtu výroby výstřížků i po částečném opotřebení stříhadla. Během stříhání dochází k opotřebení střížníku i střížnice, kde střížník se zmenšuje a střížnice zvětšuje.

Dle přesnosti je stříhání děleno do tří základních skupin:

- Nižší přesnost (IT 14 – 16),
- Střední přesnost (IT 11 – 12),
- Zvýšená přesnost (IT 6 – 9).

Podle těchto přesností se doporučují optimální přídavky na opotřebení a dodržení předepsané tolerance výrobku.

Na obr. 2.5 je vyobrazen jednoduchý střížný nástroj, kde: 1 – stopka, 2 – vložka, 3 – upínací deska, 4 – střížník, 5 – vodící deska, 6 – vodící lišta, 7 – doraz, 8 – střížnice, 9 – základová deska. Všechny tyto díly jsou blíže popsány níž.



Obr. 2.5 Střížný nástroj [23]

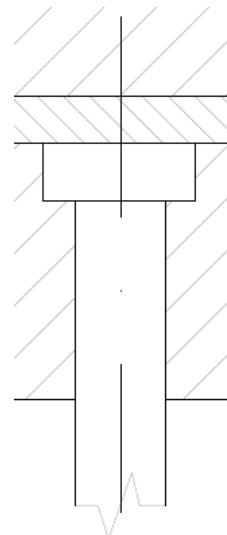
2.4.1 NORMALIZOVANÉ DÍLY NÁSTROJŮ [2], [11], [19], [21]

Většina dílů stříhadel bývá normalizována a tím zlepšují kvalitu a životnost nástrojů. S tím souvisí minimální náklady pro výrobu dílů s velkou přesností. Běžně používané nástroje jsou:

- Střížníky

Pokud jsou střížníky malé, bývají vyráběny z jednoho kusu. Proti tomu velké střížníky mají svou nosnou část vyrobenou z konstrukční oceli a z nástrojové oceli je vyrobena pouze funkční část, která je připevněna na nosnou část pomocí šroubů a vycentrována kolíky. Střížníky jsou řazeny do dvou skupin:

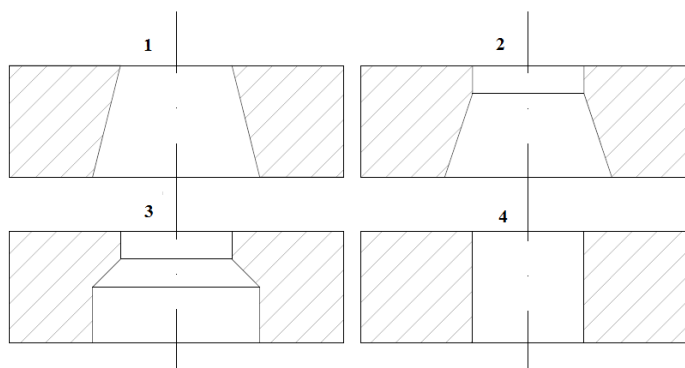
- Podle tvaru průřezu – základní a běžně užívané střížníky mají bříty kolmé k ose střížníku. Tyto střížníky mají výborné vlastnosti a jejich ostření je jednoduché.
- Podle způsobu upínání – střížníky jsou upínány v kotevní desce a je spousta typů upnutí střížníků. Mezi nejběžnější patří roznytování horní části nebo osazení (obr. 2.6). Dále mohou být upnuty přírubou, šroubem, zapuštěním atd.



Obr. 2.6 Uchycení střížníku

- Střížnice

Kvalita střížné plochy je ovlivněna spousta faktory, např. druh nástroje a geometrie funkční části střížnice. Na obr. 2.7 jsou zobrazeny typy střížnice. Pro přesné stříhání musí být bříty střížnice dobře zakalené a ostré. Bříty se během provozu zaoblují, vzniká otřep a v důsledku toho je zhoršena kvalita střížné plochy a narůstá střížná síla.



Obr. 2.7 Typy střížnic

- Stopky

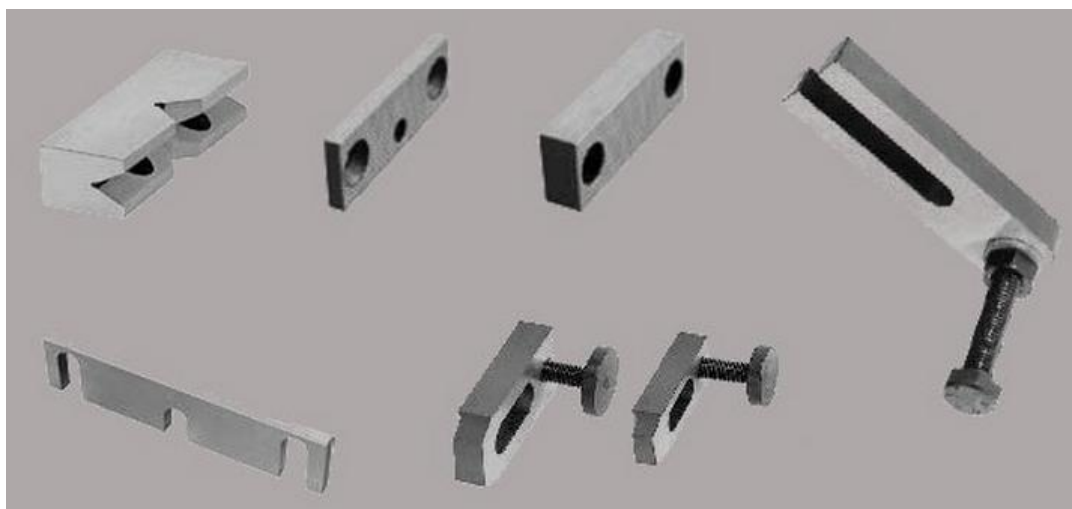
Bývají zalisovány nebo našroubovány v horní části nástroje, u malých přípravků je stopka z jednoho kusu s upínací deskou. Stopky slouží k ustředění velkých přípravků k beranu a malé přípravky jsou za ni upnuty. Aby nástroj fungoval správně a nedocházelo k jednostrannému opotřebení vedení, je třeba zachovat kolmost stopky k upínací desce. Na obr. 2.8 je zobrazeno několik typů stopek, ale všechny plní stejný účel. Stopky jsou použity u všech typů nástrojů, které se upevňují do lisu.



Obr. 2.9 Tvary stopek

- Dorazy

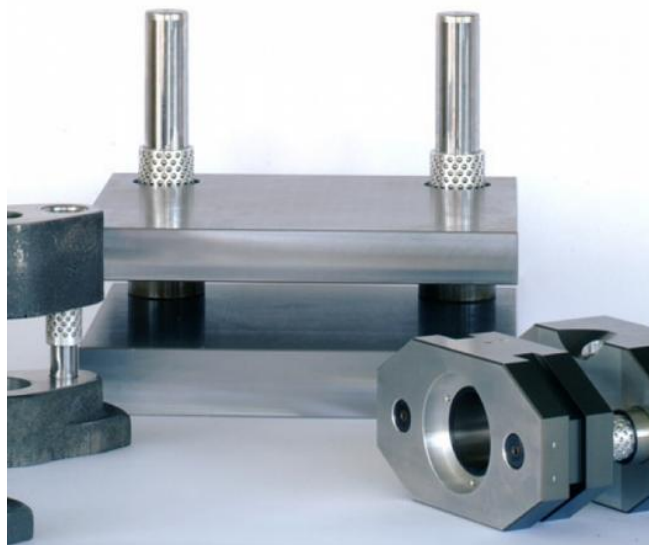
Jsou to polohovací elementy, které slouží ke správnému uložení polotovaru do nástroje. Dorazy jsou konstruovány tak, aby byl snížen počet volností na 0. Použitím vhodných dorazů je zajištěna delší životnost nástroje, plynulost chodu, zvýšená produktivita práce. To vede ke snížení zmetkovitosti a výrobních nákladů na výrobu. Ve výrobě se používá mnoho typů dorazů, např. pevné dorazy, zpětné dorazy, načínací dorazy, odstřihovací dorazy. Pro malou nebo krokovou výrobu postačí pouze základní pevné dorazy, které jsou jednoduché a jasně vymezují vzdálenost. U takto voleného typu dorazu je přesnost výroby značně ovlivněna obsluhou, proto je tento typ dorazu využíván pouze u jednoduchých nástrojů a bývají zalisovány nebo přišroubovány ve střížnici. Tyto dorazy jsou zastoupeny buďto hladkými destičkami nebo kolíky (obr. 2.10).



Obr. 2.10 Sortiment dorazů [11]

- Vodící stojánky

Přesné vedení horní části nástroje proti spodní značně ovlivňuje životnost přípravku a přesnost výrobku, proto je za tímto účelem využíváno vodících stojánek. Tímto vedením je vymezena přesná cesta horní části přípravku a je zabráněno nežádoucím bočním silám při nepřesnosti beranu. Vodící sloupky jsou zalisovány na spodní desce nástroje a pouzdra v desce horní. Pro správnou funkci je využito kluzné nebo valivé vedení. Sloupky často bývají vyrobeny z litiny, ocelolitiny nebo oceli.

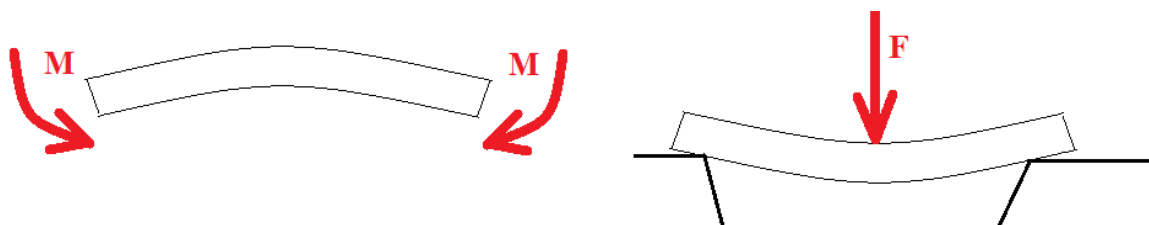


Obr. 2.11 Vodící stojánky

Vodící stojánky v nástroji mohou být uloženy podle tvaru pracovní plochy (čtvercová, obdélníková, kruhová) nebo podle polohy vodících sloupků k pracovní ploše (sloupky v podélné ose, za pracovní plochou, v úhlopříčce). Na obr. 2.11 je vodící stojánek s valivým vedením za pracovní plochou.

3 TECHNOLOGIE OHÝBÁNÍ [1], [6], [9], [22]

Technologie ohýbání je úzce spjata se stříháním, protože polotovary pro ohýbání je často vytvářen právě metodou stříhání, tzn. z výstřižků plechu. Ohýbání patří mezi trvalé přetváření materiálu vlivem sil nebo ohybových momentů, patrné na obr. 3.1. Ohýbáním měníme poloměr zakřivení součásti. Tento deformační proces probíhá za studena.

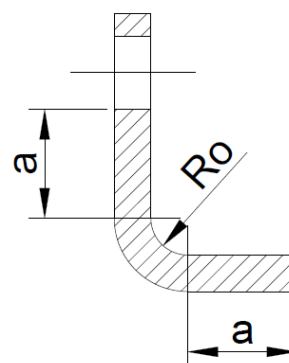


Obr. 3.1 Schéma ohybu momentem a osamělou silou

Součást nejčastěji bývá ohýbána v ohýbacích nástrojích, ohraňovacích lisech, zakružovacích lisech a ve sdružených nástrojích.

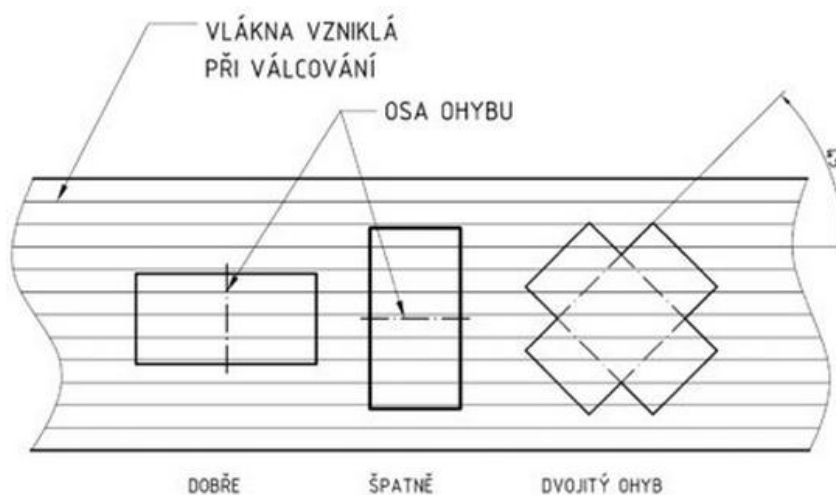
Při výrobě jakékoli součásti metodou ohýbání, je třeba brát zřetel na technologičnost a konstrukci samotné výroby. Mezi hlavní kritéria patří:

- minimální vzdálenost okraje otvoru od ohybu (obr. 3.2), kde $a \geq 2s$, v případě nedodržení dojde k deformaci otvoru,
- minimální délku ohýbaného ramene, kde $a \geq 2s$,
- ostré ohyby jsou vyráběny pouze kalibrací,
- zajištění polohy materiálu během ohýbání, aby nedošlo k posunu.



Obr. 3.2 technologičnost ohýbané součásti

V neposlední řadě je taktéž důležité, aby osa ohybu byla umístěna kolmo na směr vláken v materiálu (obr. 3.3). Pokud není takové uložení možné, je doporučeno natočení součásti o $30 - 45^\circ$. V opačném případě, pokud by byla osa ohybu uložena ve směru vláken, by mohlo dojít ke snadnému překročení kritického poloměru a ke vzniku trhlin v ohybu.



Obr. 3.3 Typy uložení osy ohybu [1]

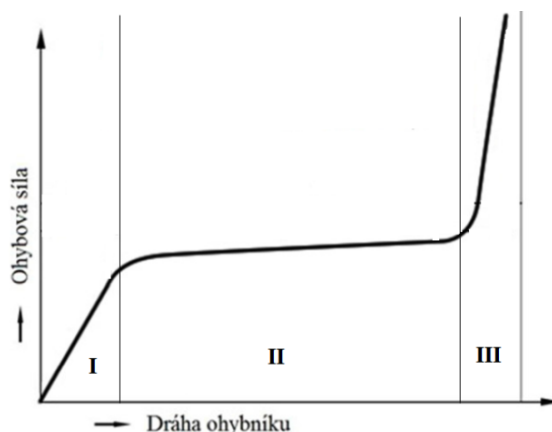
3.1 PRŮBĚH OHYBU [1], [9], [17], [19]

Celý ohybu je viditelný na obr. 3.4 a můžeme jej rozdělit do tří fází.

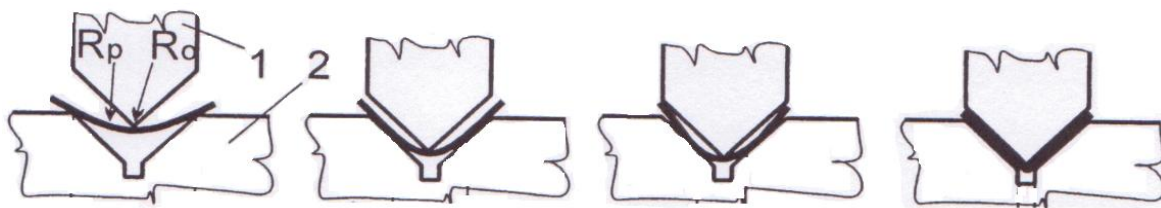
- oblast pružného ohybu – první fáze,
- oblast plastického ohybu – druhá fáze,
- oblast kalibrování – třetí fáze.

Pro názorný příklad (obr. 3.5) je rozfázovaný ohyb do tvaru “V”.

Po dosednutí ohybníku na plechu je rádius R_p největší a během ohybu se tento rádius zmenšuje. Polotovar je během ohybu celou dobu v kontaktu s horní částí ohýbací čelisti nejprve v jednom bodu, následně ve třech bodech, až dojde k úplnému dosednutí. V ten moment dochází ke kalibraci a styk je plošný na obou čelistech.

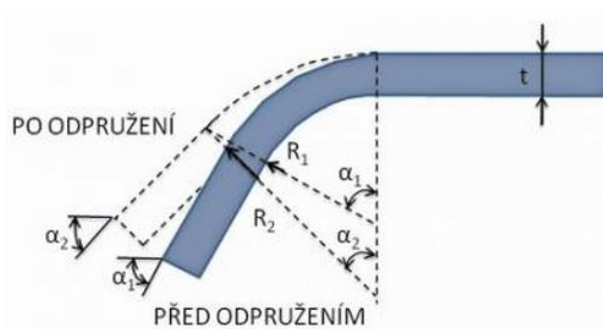


Obr. 3.4 Průběh ohýbací síly



Obr. 3.5 Průběh ohybu v nástroji [19]

Ve chvíli, kdy se uvolní čelisti, materiál má tendenci vracet se do původní polohy a dojde k tzv. pružné deformaci (obr. 3.6). To způsobí zvětšení úhlu ohybu a tvar vyjmuté součásti není shodný s tvarem ohýbadla. Na tento faktor je třeba brát zřetel a sestavit ohýbadla tak, aby byla větší o hodnotu odpružení. Velikost se dá zjistit z diagramu, které jsou sestaveny z praktických zkoušek nebo vztahem.



Obr. 3.6 Velikost odpružení [1]

Pro tvar “V”:

$$\operatorname{tg} \alpha = 0,375 \cdot \frac{l_v}{x \cdot s} \cdot \frac{Re}{E} [^\circ] \quad (3.1)$$

kde: Re ... mez kluzu materiálu [MPa],

l_v ... vzdálenost mezi opěrou ohybnice a ohybníku [mm],

E ... modul pružnosti v tahu [MPa],

x ... koeficient podílu R/s [-].

Pro tvar “U”:

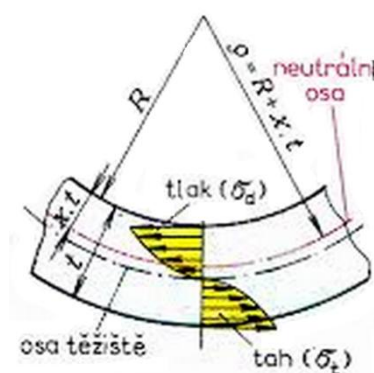
$$\operatorname{tg} \alpha = 0,75 \cdot \frac{l_u}{x \cdot s} \cdot \frac{Re}{E} [^\circ] \quad (3.2)$$

kde: l_u ... vzdálenost mezi opěrami ohybnice [mm].

3.2 NEUTRÁLNÍ OSA [6], [17], [19], [22]

Při ohybu vzniká v materiálu tahové a tlakové napětí, které zapříčiní, že na vnitřní straně se materiál stlačuje a na vnější straně roztahuje.

Před ohybem se neutrální osa nachází přesně uprostřed materiálu, kde jsou tahová napětí pod mezí kluzu a nedochází k roztahení ani ke stlačení materiálu. V průběhu ohybu se osa posouvá k vnitřní straně ohybu (obr. 3.7). Poloměr neutrální osy je určen z koeficientu x . Ten vyjadřuje posunutí neutrální osy a je závislý na tloušťce materiálu a rádiusu ohybu. Tato závislost je uvedena v tab. 3.1.



Obr. 3.7 Neutrální osa [17]

Tab. 3.1 součinitel neutrální osy x [19]

R/s [mm]	1	1,2	1,5	2	3	4	5	6	8
x [-]	0,35	0,36	0,37	0,38	0,4	0,42	0,43	0,44	0,45

Poloměr neutrální osy se vypočítá ze vzorce:

$$r = R + x \cdot s \text{ [mm]} \quad (3.3)$$

kde: R ... poloměr [mm],

x ... součinitel posunutí neutrální osy [-].

Potom uvažovanou délku oblouku vypočítáme z rovnice:

$$L_x = \frac{\pi \cdot r \cdot \sigma}{180} \text{ [mm]} \quad (3.4)$$

kde: σ ... úhel úseku [°],

r ... poloměr neutrální osy [mm].

Během ohybu může dojít k porušení materiálu na vnější straně z důvodu překročení minimálního poloměru ohybu. Lom nastane po překročení meze pevnosti v tahu. Rozhodujícím elementem je tečné tahové napětí v krajních vláknech. Na dosažení minimálního rádiusu má vliv několik faktorů, např. úhel ohybu, tloušťka materiálu, způsob ohýbání. Minimální rádius ohybu je dán rovnicí:

$$R_{min} = c_0 \cdot s \text{ [mm]} \quad (3.5)$$

kde: c_0 ... koeficient pro materiál (pro měkkou ocel 0,5 – 0,6) [-]

Pro maximální poloměr je vztah:

$$R_{max} = \frac{E \cdot s}{2 \cdot Re} \text{ [mm]} \quad (3.6)$$

Tento vztah vyjadřuje poloměr maximálního ohybu, kdy dojde k překročení plastické deformace a materiál bude trvale ohnut. V případě, že by nedošlo k překročení plastické deformace, byl by to děj pružný a ohýbaný plech by se vrátil do původní polohy.

3.3 SÍLA A PRÁCE [6], [17], [19], [22]

Stříhání je vždy doprovázeno ohýbáním, kdy je součást ohýbána do požadovaných tvarů pomocí síly, která působí na střed polotovaru. Polotovar je opřen o dvě podpěry na krajích. Dva typy ohybu (tvar “U“ a “V“) se určují podle působící síly dle vztahů:

$$F_{ou} = (1 + 7 \cdot \mu) \cdot \frac{b \cdot s^2 \cdot Re}{s + R} \text{ [N]} \quad (3.7)$$

kde: μ ... součinitel statického tření [-],
 F_{ou} ... ohybová síla pro tvar “U“ [N],
 b ... šířka materiálu [mm].

$$F_{ov} = \frac{b \cdot s^2 \cdot Re}{2 \cdot R} \cdot \tan \frac{\alpha}{2} \text{ [N]} \quad (3.8)$$

kde: F_{ov} ... ohybová síla pro tvar “V“ [N],
 α ... úhel ohybu [°].

Průběh ohybové síly je znázorněn na obr. 3.4. Z těchto sil je spočítána ohybová práce pro oba tvary dle vztahů:

$$A_{ou} = \frac{2}{3} \cdot F_{ou} \cdot \frac{z}{1000} \text{ [J]} \quad (3.9)$$

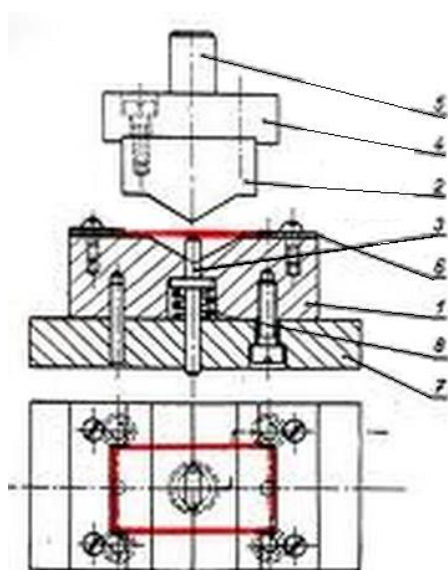
kde: A_{ou} ... práce pro tvar “U“ [J],
 z ... zdvih beranu [mm].

$$A_{ov} = \frac{1}{3} \cdot F_{os1} \cdot \frac{z}{1000} \text{ [J]} \quad (3.10)$$

Kde: A_{ov} ... práce pro tvar “V“ [J].

Podle těchto vztahů je volen vhodný lis pro vykování potřebných operací.

3.4 OHÝBACÍ NÁSTROJE [1], [6], [19], [23]



Na kvalitu ohýbané součásti má významný vliv správná konstrukce ohýbadel. Na obr. 3.8 je zobrazen nástroj pro ohyb kde: 1 - ohybnice, 2 – ohybník, 3 – vyhazovač, 4 – horní upínací deska, 5 – stopka, 6 – doraz, 7 – spodní upínací deska, 8 – pružina.

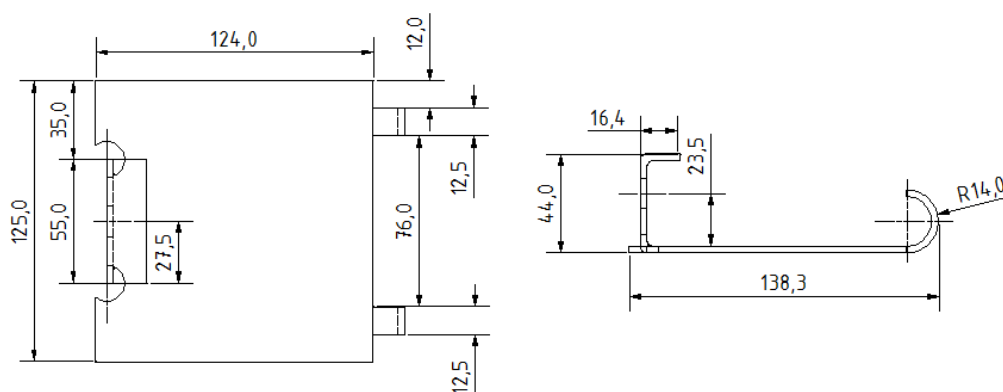
Pokud se jedná o jednoduchý nástroj, není třeba vodících stojánek. V případě složitějších nástrojů, např. střížných nebo tam, kde je třeba větší výrobní přesnosti, tak se vodící stojánky zavádějí. Stříhací i ohýbací nástroje jsou vyráběny ze společných normalizovaných dílů, např. upínací desky, stopky, vodící stojánky atd. Tudíž pro výrobu součásti, která je vyráběna stříháním s následným ohýbáním, postačí pouze jeden stroj (lis).

Obr. 3.8 Ohýbadlo [19]

4 NÁVRH VÝROBY FIXAČNÍHO ČLENU [4], [8]

Fixační člen bude vyráběn po jednotlivých krocích v pěti různých přípravcích, které jsou níže uvedeny. Při výrobě byla využita technologie stříhání a ohýbání za využití jednoho stroje. Celá série je o velikosti 24 000 ks/rok. Pro výrobu nebyla předepsána žádná tolerance, tudíž všechny míry byly tolerovány podle DIN ISO 2768 – MK. Díl je vyráběn ze dvou různých typů oceli. Buď je použita konstrukční, nelegovaná ocel 11 373 nebo konstrukční, legovaná ocel 17 240. V našem případě byla vybrána konstrukční, nelegovaná ocel 11 373 o velikosti tabule plechu P3-1500x3000 mm dle normy ČSN 42 5310. Použitý materiál musí splňovat všechny kritéria výroby tj. vyhovující mez pevnosti a mez kluzu. Tabule plechu jsou dováženy z prodejen hutního materiálu ArcelorMittal Ostrava a.s. nebo U. S. Steel Košice.

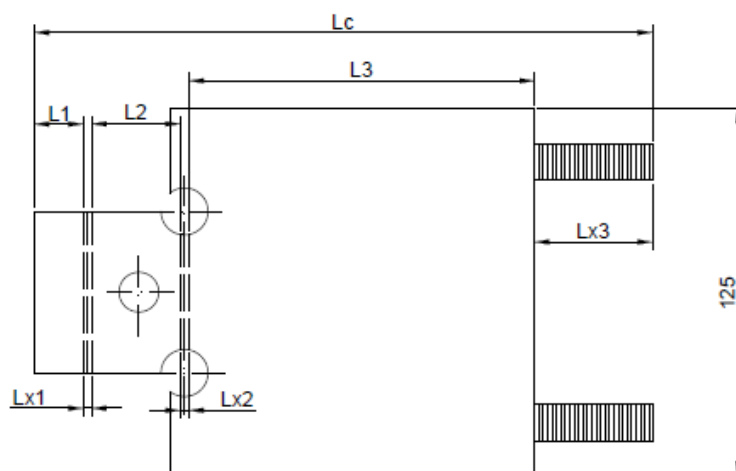
Díl na obr. 3.1 splňuje všechna potřebná kritéria pro výrobu celé série a pro dodržení potřebných tolerancí na všech nástrojích byly použity dorazy.



Obr. 4.1 Hotová součást

Na obr. 3.2 je znázorněna celková rozvinutá délka součásti, která se spočítá součtem všech ohybů a všech neutrálních os dle vzorce:

$$L_c = \sum_{i=1}^n L_i + \sum_{i=1}^n L_{0i} \quad (4.1)$$



Obr. 4.2 Rozvinutá součást

Pro určení celkové délky součásti je třeba znát všechny poloměry neutrální osy. Pro výpočet je využit vzorec 3.3 a součinitel neutrální osy je určen v tabulce 4. Jelikož máme více poloměrů ohybu ($x_1 = 0,35$; $x_2 = 0,35$; $x_3 = 0,42$), bude se poloměr neutrální osy ρ lišit.

$$r_1 = r_2 = R_1 + x \cdot s = 3 + 0,35 \cdot 3 = 4,05 \text{ mm}$$

$$r_3 = R_3 + x \cdot s = 11 + 0,42 \cdot 3 = 12,26 \text{ mm}$$

Ze vztahu 3.2 vypočítáme délku všech oblouků součásti.

$$L_{x1} = L_{x2} = \frac{\pi \cdot r_1 \cdot \alpha}{180} = \frac{\pi \cdot 4,05 \cdot 90}{180} = 6,36 \text{ mm}$$

$$L_{x3} = \frac{\pi \cdot r_3 \cdot \beta}{180} = \frac{\pi \cdot 12,26 \cdot 180}{180} = 38,51 \text{ mm}$$

Po sečtení všech částí zjistíme celkovou délku rozvinuté součásti.

$$L_c = L_1 + L_2 + L_3 + L_{x1} + L_{x2} + L_{x3} = 16,5 + 25 + 117,5 + 6,36 + 6,36 + 38,51 = 210,2 \text{ mm} = 210 \text{ mm}$$

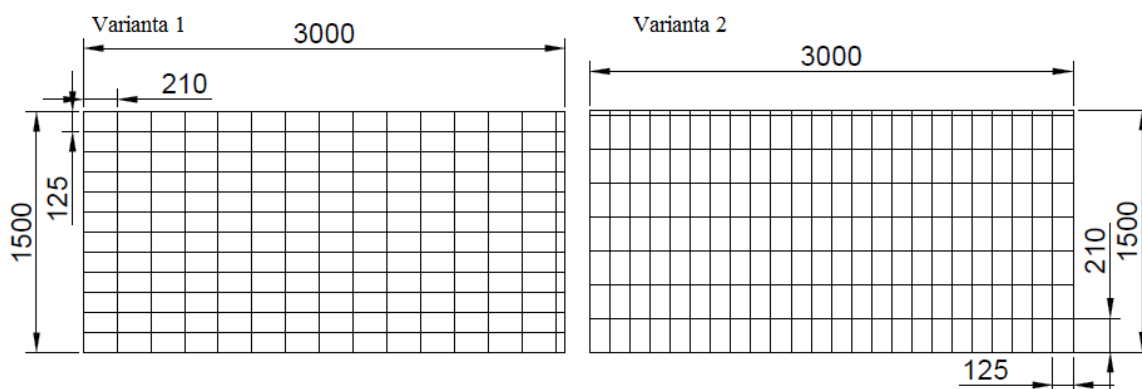
Vzhledem k typu použité technologie a následného využití výsledného dílu je celková rozvinutá délka středové osy polotovaru zaokrouhlena na celá čísla a rozměry základního polotovaru jsou 210 x 125 mm. S těmito rozměry součásti je počítán nástřihový krokový plán součásti.

4.1 NÁSTŘIHOVÝ KROKOVÝ PLÁN [5], [19], [22]



Obdélníkový tvar součásti umožňuje podélné i příčné umístění na tabuli plechu. Tudíž máme dvě varianty uložení na tabuli o velikosti 1500 x 3000 mm. Jelikož mezi jednotlivými díly nejsou žádné můstky a polotovar o velikosti 210 x 125 mm je potřeba celý, tak pásy tabule budou stříhány na hydraulických NTE nůžkách, které jsou používány ve firmě a jsou znázorněny na obr. 4.3.

Obr. 4.3 Hydraulické NTE nůžky



Obr. 4.4 Varianty stříhu tabule plechu

- Varianta 1 z obr. 4.4.

Počet pásů z 1 tabule:

$$P_p = \frac{\dot{s}_t}{\dot{s}_k} = \frac{3000}{210} = 14,3 \text{ ks} \quad (4.2)$$

kde: \dot{s}_t ... šířka tabule [mm]

\dot{s}_k ... šířka kroku [mm]

P_p ... počet pásů [ks]

Pro polotovár je potřeba celá šířka pásů, proto je P_p zaokrouhlen na 14 pásů z tabule.

Počet výstřížků z 1 pásů:

$$P_v = \frac{d_t}{d_k} = \frac{1500}{125} = 12 \text{ ks} \quad (4.3)$$

kde: d_t ... délka tabule [mm]

d_k ... délka kroku [mm]

P_v ... počet výstřížků [ks]

Jelikož nůžky dovolují bezpečnou délku stříhu min. 8 mm, tak bude využito všech 12 výstřížků z 1 pásu.

Počet výstřížků z jedné tabule:

$$P_{c1} = P_p \cdot P_v = 14 \cdot 12 = 168 \text{ ks} \quad (4.4)$$

Procentuální využití tabule:

$$V_{p1} = \frac{P_{c1} \cdot S_v}{S_t} \cdot 100 = \frac{168 \cdot 26250}{4500000} \cdot 100 = 98 \% \quad (4.5)$$

Ve variantě č. 1 je z jedné tabule nastříháno 168 kusů výstřížků tj. 98% celkového využití tabule.

- Varianta 2

Počet pásů z 1 tabule:

$$P_p = \frac{\dot{s}_t}{\dot{s}_k} = \frac{3000}{125} = 24 \text{ ks}$$

Jelikož nůžky dovolují bezpečnou délku stříhu min. 8 mm, tak bude využito všech 24 výstřížků z 1 pásu.

Počet výstřížků z 1 pásů:

$$P_v = \frac{d_t}{d_k} = \frac{1500}{210} = 7,2 \text{ ks}$$

Pro polotovár je potřeba celá šířka pásů, proto je P_v zaokrouhlen na 7 pásů z tabule.

Počet výstřížků z jedné tabule:

$$P_{c2} = P_p \cdot P_v = 24 \cdot 7 = 168 \text{ ks}$$

Procentuální využití tabule:

$$V_{p2} = \frac{P_{c2} \cdot S_v}{S_t} \cdot 100 = \frac{168 \cdot 26250}{4500000} \cdot 100 = 98 \%$$

Ve variantě č. 2 je z tabule nastříháno 168 kusů výstřížků tzn. 98% využití.

Tab. 4.1 Výsledky variant při stříhání

	pásů [-]	výstřížků z pásu [-]	výstřížků z tabule [-]	Využití [%]
Varianta č. 1	14	12	168	98%
Varianta č. 2	24	7	168	98%

Na obr. 4.4 jsou zobrazeny dvě možné varianty využití tabule plechu a v tabulce 4.1 je shrnutí vypočtených výsledků. Z výsledků je patrné, že obě dvě varianty vyšli s procentuálním využitím 98%, proto by mělo být jedno, která varianta je zvolena. Ale vzhledem k tomu, že je doporučeno, aby osa ohybu byla umístěna kolmo na směr vláken v materiálu, je volena podélná varianta stříhu, tudíž varianta č. 1.

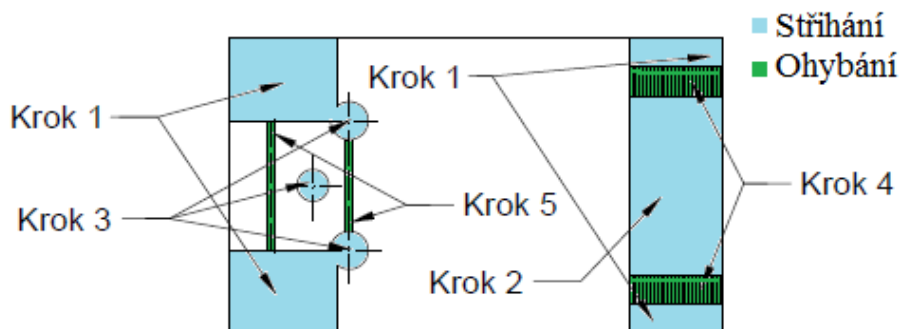
Počet potřebných tabulí plechu pro celou výrobu:

$$X_{p1} = \frac{N}{P_{c1}} = \frac{24\,000}{168} = 142,9 = 143 \quad (4.6)$$

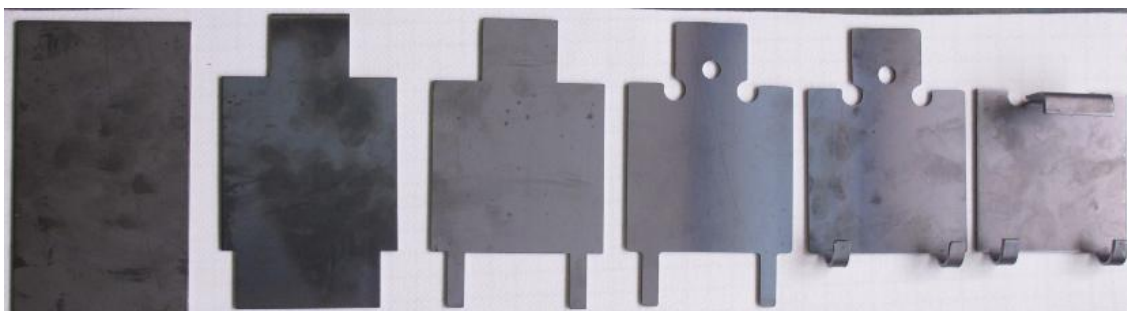
Pro celou výrobu 24 000 ks/rok je třeba 143 kusů tabulí plechu. V tomto typu stříhání je zcela zbytečné, aby byly využívány svitky plechu nebo výrobní linku pro polotovary, protože není použit sdužený nástroj.

4.2 POSTUP VÝROBY [4]

Jelikož celková výroba činní 24 000 ks/rok a připravený polotovar je o rozměrech 210 x 125 mm docela velký, je zbytečné a nemožné, aby součást byla vyráběna postupovým stříháním a ohýbáním v jednom sduženém nástroji. Potřebná síla pro všechny operace současně by byla příliš velká a postupovým stříháním a ohýbáním v jednom sduženém nástroji by vznikl zbytečně velký odpad. Proto výroba byla rozdělena do pěti kroků, kde první tři kroky byly střížné operace a poslední dva kroky byly zastoupeny ohýbáním. Na obr. 4.5 je krokově rozdělen celý postup práce a na obr. 4.6 jsou znázorněny operace v řadě, jak jdou za sebou od polotovaru až po hotovou součást.

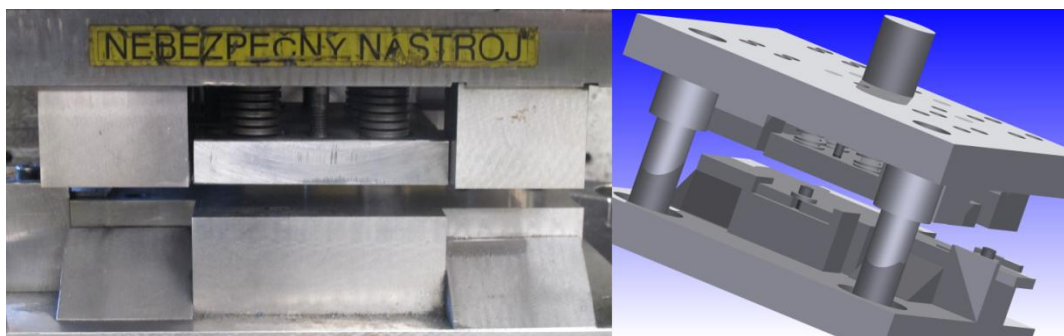


Obr. 4.5 Kroky výroby



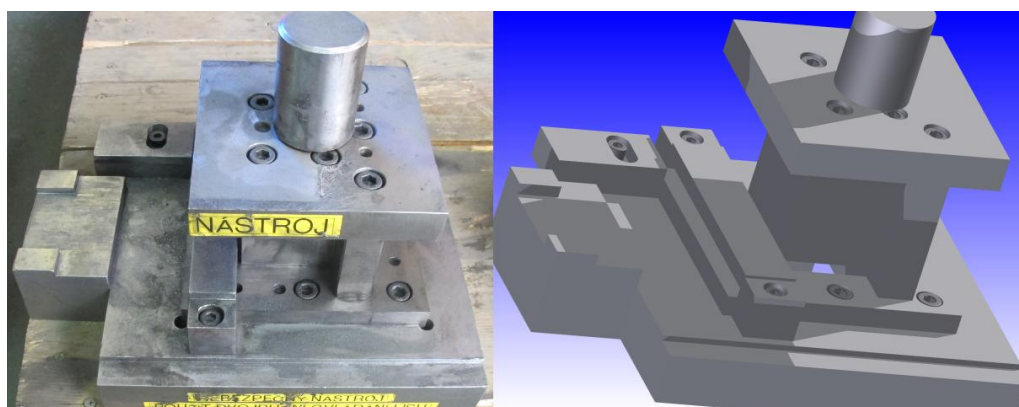
Obr. 4.6 Postup Výroby

Jelikož byly všechny operace prováděny na různých nástrojích, tak i výroba byla rozdělena na 6 sérií po 4 000 kusech v průběhu roku. Od strojních nůžek byla přistavena k lisu bedna s požadovaným množstvím polotovaru 210 x 125 mm a celá série byla vystřižena naráz v prvním nástroji, který je na obrázku 4.7, kde napravo je vždy obrázek vytvořen v Inventoru a nalevo je reálný, používaný nástroj.



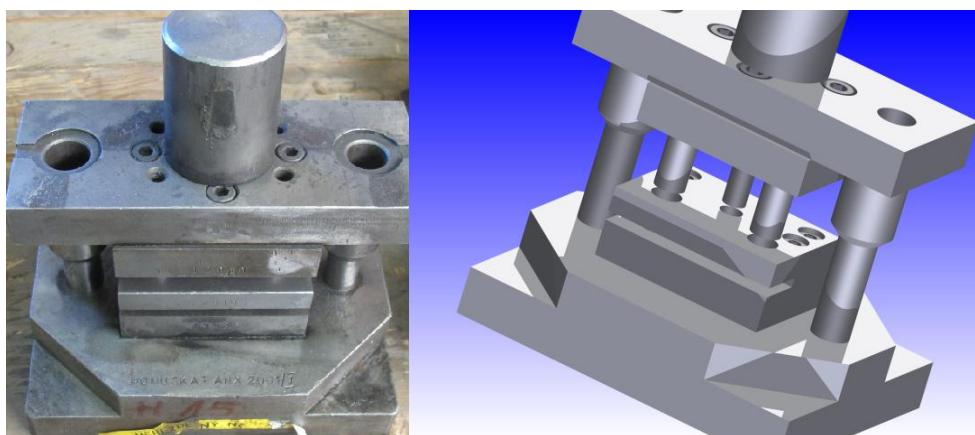
Obr. 4.7 Střižný nástroj pro první krok

V prvním kroku byly odstřiženy rohy polotovaru a takto odstřižená součást byla skládána do připravené bedny a tím i nachystaná pro další manipulaci. Dalším krokem bylo odstřížení spodní části polotovaru. Tento krok byl vykonán druhým nástrojem, kde vodící lišta zároveň slouží jako doraz. Viz obr. 4.8.



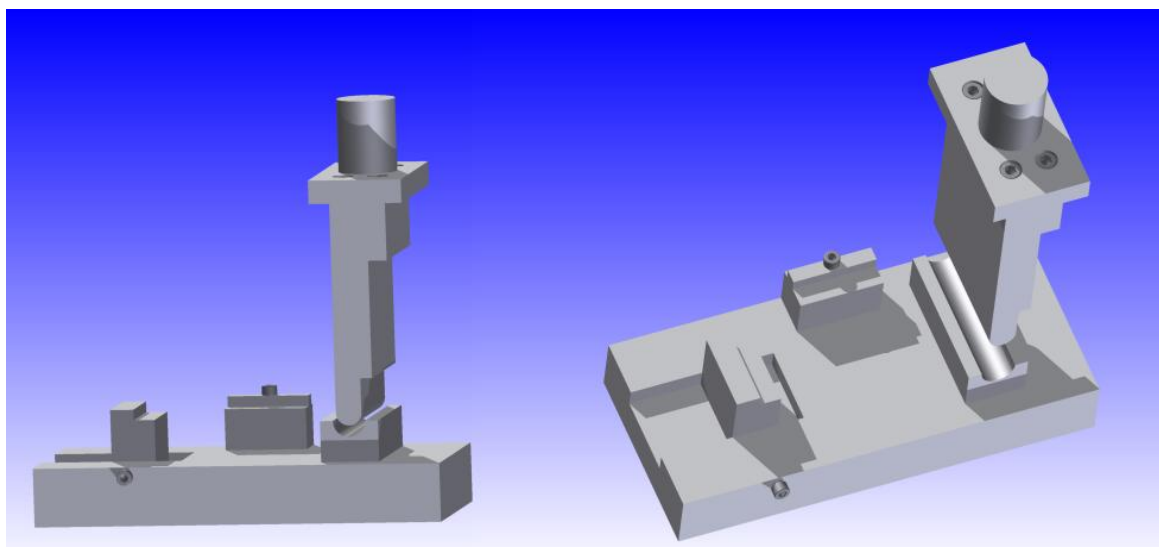
Obr. 4.8 Střižný nástroj pro druhý krok

Třetí krok byl poslední střižnou operací. V polotovaru byly prostřiženy 3 díry a tím byl polotovar nachystán pro ohyb. Střižný nástroj je viditelný na obr. 4.9.



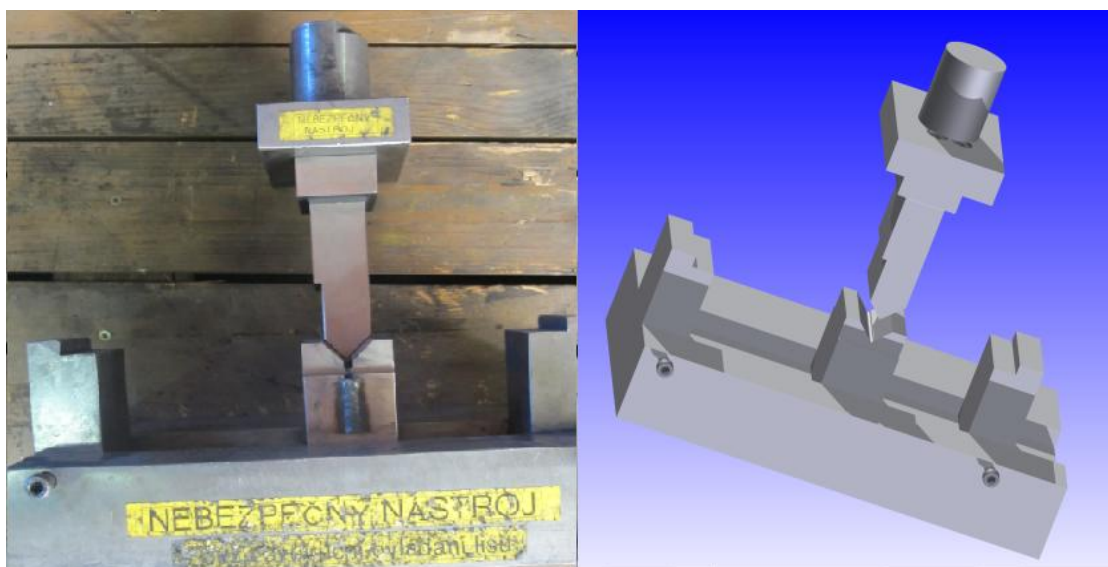
Obr. 4.9 Střižný nástroj pro třetí krok

Pro čtvrtý krok, který byl prvním ohybovým krokem, byl navržen přípravek, který ohne “nožičky” do požadovaného tvaru. Při ohýbacích operacích mohlo být využito ohraňovacího lisu, ale vzhledem k velikosti výroby 24 000 ks/rok to bylo zcela zbytečné a pro všechny operace byl využit lis s příslušnými přípravky. Na obr. 4.10 je přípravek znázorněn.



Obr. 4.10 Ohýbací nástroj pro čtvrtý krok

Pátým a posledním krokem byl výstřížek v přípravku na dvakrát ohnut do finální podoby v nástroji, který je na obr. 4.11, pomocí lisu a díl byl plně funkční.



Obr. 4.11 Ohýbací nástroj pro pátý krok

Po všech operacích byla celá série 4 000 ks povrchově upravena, díly byly připraveny k montáži a znovu byl do lisu upevněn první nástroj pro další sérii. Jedinou nevýhodou při zpracování bylo zdlouhavé měnění nástrojů, ale tento postup výroby je nejlevnější metodou, proto je využíván.

4.3 VÝPOČET PRÁCE A SIL PRO STŘIH [5], [16], [19], [27]

Střížná síla byla spočítána pro všechny Střížníky a nejmenší střížník Ø13,5 mm byl spočítán na vzpěr. Všechny výsledky byly vepsány do tab. 4.2.

Střížná síla:

$$F_{s1} = n \cdot S_s \cdot R_m \cdot s \cdot 0,8 = 1,2 \cdot 435 \cdot 3 \cdot 0,8 \cdot 433 = 542,5 \text{ kN}$$

$$F_{s2} = n \cdot S_s \cdot R_m \cdot s \cdot 0,8 = 1,2 \cdot 435 \cdot 3 \cdot 0,8 \cdot 156 = 195,4 \text{ kN}$$

$$F_{s3} = n \cdot S_s \cdot R_m \cdot s \cdot 0,8 = 1,2 \cdot 435 \cdot 3 \cdot 0,8 \cdot \pi \cdot (2 \cdot 16 + 13,5) = 179,1 \text{ kN}$$

Střížná síla nejmenšího střížníku:

$$F_{ss} = n \cdot S_s \cdot R_m \cdot s \cdot 0,8 = 1,2 \cdot 435 \cdot 3 \cdot 0,8 \cdot \pi \cdot 13,5 = 53,1 \text{ kN}$$

Tab. 4.2 Výsledky střížných sil

Kroky	1. Střih	2. Střih	3. Střih
S [mm ²]	4 180	3 040	1 626
F _s [kN]	542,5	195,4	179,1

Kontrola na vzpěr pro nejmenší střížník Ø13,5 mm:

$$J = \frac{\pi \cdot d_s^4}{64} = \frac{\pi \cdot 13,5^4}{64} = 1\,630,4 \text{ mm}^4 \quad (4.4)$$

kde: d_s ... průměr nejmenšího střížníku [mm]

$$l = \sqrt{\frac{2 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot J}{F_{ss}}} = \sqrt{\frac{2 \cdot \pi^2 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 1\,630,4}{53\,133,4}} = 384,1 \text{ mm} \quad (4.5)$$

kde: E ... modul pružnosti [MPa]

Z výsledku je patrné, kritická délka nejmenšího střížníku je 384,1 mm a po jejím překročení může dojít k deformaci nebo úplnému zničení střížníku.

Výpočet nejmenší výšky střížnice:

$$h_{s3} = \sqrt[3]{0,1 \cdot F_{s3}} = \sqrt[3]{0,1 \cdot 179\,143,2} = 26,2 \text{ mm} \quad (4.6)$$

kde: h_{s3} ... nejmenší výška střížnice [mm]

Z výsledku je patrné, že nejmenší výška střížnice může být 26,2 mm.

Pro zvolení lisu je ze vzorečku (2.4) spočítána střížná práce. Práce byla spočítána pro největší střížnou sílu. Ostatní střížné práce jsou spočítány analogicky a vloženy do tab. 4.3.

Střížná práce pro F_{s1} :

$$A_{s1} = \frac{k \cdot F_{s1} \cdot s}{1000} = \frac{0,55 \cdot 542\,520,8 \cdot 3}{1000} = 895,2 \text{ J}$$

Tab. 4.3 Výsledky střížné práce

Kroky	1. Střih	2. Střih	3. Střih
A_s [J]	895,2	322,5	295,6

Pro správnou funkčnost přípravku musí být mezi střížníkem a střížnicí Střížná vůle. Pro naše potřeby jakosti povrch je volena střední hodnota $c = 0,005 \div 0,035$, kde 0,005 je velmi přesná hodnota. Pro naši součást bylo zvoleno $c = 0,032$.

Výpočet střížné vůle:

$$v = 2 \cdot c \cdot s \cdot \sqrt{0,1 \cdot 0,8 \cdot R_m} = 2 \cdot 0,032 \cdot 3 \cdot \sqrt{0,1 \cdot 0,8 \cdot 435} = 0,72 \text{ mm}$$

Jelikož jsou všechny naše rozměry součásti netolerované, budou tolerovány dle normy ČSN ISO 2768 – 1. Všechny tolerance funkčních částí se dosadily do tab. 4.4.

Tab. 4.4 Výrobní tolerance [27]

Střížníky	Tolerance [mm]	Výrobní tolerance střížníku [mm]	Výrobní tolerance střížnice [mm]
1	$\pm 0,1$	0,025	0,036
2	$\pm 0,2$	0,063	0,040
3	$\pm 0,1$	0,025	0,036

4.4 VÝPOČET PRÁCE A SIL PRO OHYB [16], [17], [19]

Všechny části dílu, které byly ohýbány na lisu, jsou níže spočítány. Jelikož síla pro ruční ohýbačku není podstatná, nebyla spočítána. Ze součásti je patrné, že v lisu budou ohýbané tvary “V” i tvar “U”.

Síla pro ohyb:

Ohyb do tvaru “U”

$$F_{ou} = (1 + 7 \cdot \mu) \cdot \frac{b \cdot s^2 \cdot Re}{s + R} = (1 + 7 \cdot 0,15) \cdot \frac{25 \cdot 3^2 \cdot 235}{3 + 11} = 7,8 \text{ kN}$$

Ohyb do tvaru “V”

$$F_{o1} = \frac{b \cdot s^2 \cdot Re}{2 \cdot R} \cdot tg \frac{\beta}{2} = \frac{55 \cdot 3^2 \cdot 235}{2 \cdot 3} \cdot tg \frac{90}{2} = 19,4 \text{ kN}$$

$$F_{o2} = \frac{b \cdot s^2 \cdot Re}{2 \cdot R} \cdot tg \frac{\beta}{2} = \frac{55 \cdot 3^2 \cdot 235}{2 \cdot 3} \cdot tg \frac{90}{2} = 19,4 \text{ kN}$$

V tabulce 4.5 jsou uvedeny výsledky ohybových sil. Ohyb 2 a 3 byly ohýbány v jednom nástroji.

Tab. 4.5 Výsledek ohybových sil

Kroky	1. Ohyb	2. Ohyb	3. Ohyb
F_o [kN]	7,8	19,4	19,4

Z ohybové síly byla vypočítána největší ohybová práce podle vzorce (4.7) a analogicky byla spočítána A_{o2} podle A_{o1} .

$$A_{ou} = \frac{2}{3} \cdot F_{ou} \cdot \frac{z}{1000} = \frac{14}{2} \cdot 7761,2 \cdot \frac{1}{1000} = 53,3 \text{ J}$$

$$A_{o1} = A_{o2} = \frac{1}{3} \cdot F_{os1} \cdot \frac{z}{1000} = \frac{1}{3} \cdot 19414,8 \cdot \frac{15}{1000} = 96,1 \text{ J}$$

Největší práce na ohyb činí 96,1 J a ostatní výsledky byly vloženy do tabulky 4.6.

Kroky	1. Ohyb	2. Ohyb	3. Ohyb
A_o [J]	53,3	96,1	96,1

Po srovnání všechny výsledních prací při vystřihování i ohýbání bylo zjištěno, že největší vykonaná práce je při vystřihování prvního kroku. Vykonaná práce při jednom otočení lisu byla 895,2 J. Ve firmě je používán lis LEXN 100 C, který je pro tuto činnost vysoce předimenzovaný.

Minimální a maximální poloměr ohybu:

Koeficient c_0 pro ocel: $c_0 = 0,5 \div 0,6$.

$$R_{min} = c_0 \cdot s = 0,55 \cdot 3 = 1,65 \text{ mm}$$

$$R_{max} = \frac{E \cdot s}{2 \cdot Re} = \frac{2 \cdot 10^5 \cdot 3}{2 \cdot 235} = 1276,6 \text{ mm}$$

Odpružení materiálu:

$$\tan \alpha = 0,375 \cdot \frac{b}{x \cdot s} \cdot \frac{Re}{E} = 0,375 \cdot \frac{18}{0,35 \cdot 3} \cdot \frac{186}{2 \cdot 10^5} = 0,25^\circ$$

Výsledku je patrné, že dojde k zanedbatelnému odpružení materiálu o pouhých $0,25^\circ$.

4.5 ROZBOR POUŽITÝCH NÁSTROJŮ [5], [16]

Všechny přípravky použité v lisu se skládají ze dvou částí. Horní pohybující se a dolní pevné části. Horní část přípravku je upevněna k beranu za pomoci stopky, která je zašroubovaná v horní desce přípravku. K horní desce, která slouží jako vodící je připevněna kotevní deska pomocí šroubů a vycentrovaná kolíky. V kotevní desce jsou upevněny buď střižníky, nebo ohybníky, podle typu přípravku. Mezi horním dílem stojánku a kotevní deskou je vložena opěrná deska, která zabráňuje vtlačení funkčních částí do stojánku.

Na pracovním stole lisu, který je pevný, leží základní deska (spodní část). Ze základní desky jsou vyvedeny na vodící sloupky, ve kterých se pohybuje horní část



Obr. 4.12 Rozbor upevnění přípravku k lisu

přípravku. K základní desce je také přimontována střížná skříň, která je vycentrována kolíky. Poloha materiálu v přípravku je zajištěna pomocí dorazů.

4.6 VOBLA LISU A STOJNÍCH NŮŽEK [10], [29]

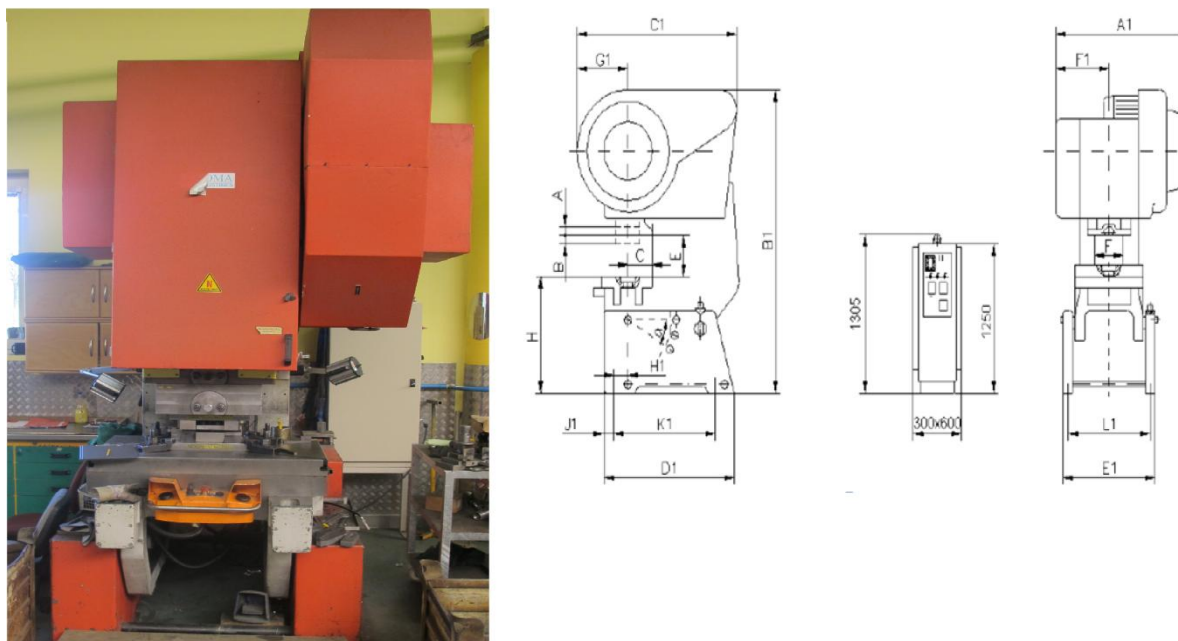
Pro výrobu součástí bylo využito strojů, které firma běžně používá a již byly zakoupeny v minulosti.

- Lis je volen dle největší síly a vykonané práce, která je potřeba pro provedené operace. Z výpočtů je vidět, že největší síla a práce byla v první střížné operaci.

$$F_n = 542,5 \text{ kN}$$

$$A_n = 895,2 \text{ J}$$

Lis, který bude použit, musí vykonat větší sílu a práci, než jsou vypočtené hodnoty. Pro tyto hodnoty by stačil například lis LEN 63 C, kde jeho maximální práce $A = 1540 \text{ J}$ a jmenovitá síla $F = 630 \text{ kN}$. Jelikož firma v minulosti zakoupila lis LEXN 100C – CE, který je na obr. 4.13, a jeho parametry jsou uvedeny v tab. 4.7, byl využit pro všechny operace.



Obr. 4.13 lis LEXN 100C [29]

Tab. 4.7 Parametry lisu LEXN 100C [29]

Technické údaje			MJ
Jmenovitá síla lisu		1000	kN
Počet zdvihů		75/150	1/min
Využitelný počet jednotlivých zdvihů		45	1/min
Maximální hloubka Zpracovatelného plechu P/R	Trvalý chod	4	mm
	Jednotlivé zdvihy	7	mm
Maximální odebraná práce P/R	Jednotlivé zdvihy	3000/2500	J
	Trvalý chod	1650/950	J
Elektromotor	Výkon	6/10	kW
	Otáčky	725/1445	1/min
Elektrické napětí	Síťové	380 V/50 Hz	V/Hz
	Ovládací	24 V/50 Hz	
	Osvětlení	24 V/50 Hz	
Tlakový vzduch	Pracovní tlak	0,5	MPa
	Spotřeba vzduchu	0,020	m ³ /zdvih
Parametry a rozměry			MJ
Stavitelnost zdvihu	A	10 – 125	mm
Stavitelnost beranu	B	90	
Vyložení	C	355	
Sevření	E	380	
Průchod	F	380	
Plocha stolu		640 X 1000	
Plocha beranu		630 X 560	
Hloubka stolové desky		80	
Rozměry lisu	A ₁	1655	
	B ₁	2970	
	C ₁	2220	
	D ₁	1800	
	E ₁	1050	
	F ₁	585	
	G ₁	720	
	H ₁	930	
	J ₁	300	
	K ₁	1400	
	L ₁	890	
Sklopení stojanu	α	0; 90°; 170°; 250°	
Hmotnost lisu		10600	Kg

- Strojní nůžky, kterými byly nastříhány polotovary z tabule plechu, měla firma také pořízeny. Využívá strojní nůžky NTE jejichž parametry jsou v tab. 4.8 a jsou znárodněny na obr. 4.3.

Tab. 4.8 Parametry strojních nůžek NTE [10]

Technické údaje			MJ
Úhel sklonu řezné hrany	1°30′		°
Max. šířka střížného plechu	6,3		mm
Max. délka střížného materiálu	3150		
Počet zdvihů při trvalém chodě	50		min ⁻¹
Počet zdvihů při přerušovaném chodě	25		
Vyložení ve stojanech	200		mm
Min. šířka stříhaného plechu	0,6		
Přestavitelnost dorazu	0 – 600		
Max. délka plechu při min. šířce	300·s		
Max. rádius otupení nožů	0,05·s		
Tlak oleje	4 – 6		MPa
Hlavní elektromotor	11		kW
Elektromotor dorazu	0,25		
Parametry a rozměry			MJ
Rozměry nůžek	Délka	3800	mm
	Šířka	2160	
	Výška	1700	
Hmotnost nůžek		8500	kg

s ... tloušťka materiálu [mm].

5 TECHNICKO – EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ [8], [13], [28]

Účelem bylo zjistit od jakého množství kusů výrobků, výroba nebude prodělečná. V této kapitole byly stanoveny náklady na výrobu součástí. Celková výroba je 24 000 ks/rok, která byla postupně zpracována v šesti sériích po 4 000 ks. V ekonomické části jsou vyřešeny celkové náklady, které se skládají z nákladů na materiál, na mzdu, na spotřebovanou energii a na povrchovou úpravu. Pro náš případ výroby byly využity tabule plechu P3-3000x1500 mm.

Veškeré stroje jsou majetkem firmy, tudíž jejich ceny jsou nepodstatné a ceny daných materiálů a odpadu jsou brány k datu sepsání této práce a jsou uvedeny v tab. 5.1.

- Náklady na materiál

Tab. 5.1 Vstupní hodnoty pro náklady na materiál

Název	Označení	Hodnota	Jednotka
Počet sérií	N	6	[-]
Počet kusů v sérii	Q	4 000	[ks]
Měrná hmotnost oceli 11 375	ρ	7 800	[kg.m ⁻³]
Cena 1 kg hutního materiálu	C_{hm}	13,50	[Kč]
Cena výkupu odpadu za 1 kg	C_{od}	4,40	[Kč]
Cena na povrchovou úpravu na 1 ks	$C_{pú}$	5	[Kč]
Hmotnost jedno vyrobeného kusu	m_v	0,56	[kg]

Hmotnost jedné tabule:

$$m_{tp} = V \cdot \rho = 0,0135 \cdot 7\,800 = 105,3 \text{ kg} \quad (5.1)$$

kde: V ... objem tabule plechu [m³]

Hmotnost pro celou výrobu:

$$m_{ctp} = m_{tp} \cdot X_{p1} = 105,3 \cdot 143 = 15\,057,9 \text{ kg} \quad (5.2)$$

Celková cena tabulí plechu:

$$C_{ctp} = m_{ctp} \cdot C_{hm} = 15\,057,9 \cdot 13,50 = 203\,281,65 \text{ Kč} \quad (5.3)$$

Celková hmotnost všech výrobků:

$$m_{cv} = m_v \cdot N \cdot Q = 0,56 \cdot 6 \cdot 4\,000 = 13\,440 \text{ kg} \quad (5.4)$$

Hmotnost odpadu:

$$m_{od} = m_{ctp} - m_{cv} = 15\,057,9 - 13\,440 = 1\,617,9 \text{ kg} \quad (5.5)$$

Celková cena za odpad:

$$C_{cod} = m_{od} \cdot C_{od} = 1\,617,9 \cdot 4,40 = 7\,118,76 \text{ Kč} \quad (5.6)$$

Cena materiálu:

$$C_{mat} = C_{ctp} - C_{cod} = 203\,281,65 - 7\,118,76 = 196\,162,89 \text{ Kč} \quad (5.7)$$

Cena jednoho výrobku:

$$C_v = \frac{C_{mat}}{N \cdot Q} = \frac{196\,162,89}{6 \cdot 4\,000} = 8,17 \text{ Kč} \quad (5.8)$$

Průměrná výrobní cena jednoho kusu je 8,17 Kč. Firma Galvena s.r.o. provedla povrchovou úpravu galvanickým zinkováním. Úprava jednoho kusu, bez dopravy, stojí 5 Kč/kus.

• Náklady na mzdu a režii pro pracovníka na lisu

Ceny stroje nejsou uvažovány, jelikož firma jej vlastní řadu let. Byly započítány pouze přípravy, které byly navrženy pro zefektivnění práce (viz obr. 4.7 – 4.11). Tyto přípravy byly odhadnuty na $N_n = 140\,000$ Kč. V této ceně byly zahrnuty veškeré náklady spojené s výrobou daných přípravků.

Ve firmě je zaveden jednosměnný provoz. Výpočty jsou provedeny pouze pro pracovníka lisu, tudíž tabule plechu již byly nastříhány na strojních NTE nůžkách a s časovou náročností na nůžkách zde není počítáno. V tab. 5.2 jsou uvedeny všechny potřebné hodnoty, se kterými bylo počítáno.

Tab. 5.2 Výchozí parametry pro mzdu a režii

Název	Označení	Hodnota	Jednotka
Počet hodin	t	8	[hod]
Hodinový plat	Jm	120	[Kč]
Počet zdvihů beranu lisu	nz	45	[min ⁻¹]
Doba zahájení a ukončení směny		30	[min]
Super hrubá mzda	SZ	34	[%]

Počet zdvihů beranu za hodinu:

$$n_{zh} = n_z \cdot 60 = 45 \cdot 60 = 2\,700 \quad (5.9)$$

Počet hodin na všech přípravcích:

$$n_h = \frac{Q \cdot N \cdot t}{n_{zh} \cdot (t - 0,5 - 0,5)} \cdot 6 = \frac{4\,000 \cdot 6 \cdot 8}{2\,700 \cdot 7} \cdot 6 = 61 \text{ hod} \quad (5.10)$$

Mzda pracovníka se SZ:

$$M_{prac} = n_h \cdot J_m \cdot SZ = 61 \cdot 120 \cdot 1,32 = 9\,808,8 \text{ Kč} \quad (5.11)$$

Celkové náklady na mzdu:

Správní režie $R_{sp} = 110\%$ a výrobní režie $R_{výr} = 340\%$.

$$M_c = M_{prac} \cdot (R_{sp} + R_{výr}) = 9\,808,8 \cdot (1,1 + 3,4) = 44\,139,6 \text{ Kč} \quad (5.12)$$

Celkové náklady za mzdu činí 44 139,6 Kč.

- Náklady na elektrickou energii

Tab. 5.3 Vstupní hodnoty pro spotřebu energie

Název	Označení	Hodnota	Jednotka
Příkon lisu	P_{lis}	10	[kW]
Cena za kWh	C_e	5,20	[Kč/kWh]

Náklady na el. energii:

$$N_c = P_{lis} \cdot C_e \cdot n_h = 10 \cdot 5,20 \cdot 61 = 3\,172 \text{ Kč} \quad (5.13)$$

Náklady na spotřebovanou energii při chodu stroje je 3 172 Kč.

- Celkové náklady na součást

Náklady na výrobu součásti bez zisku:

$$N_{cb} = \frac{C_{mat} + M_c + N_n + N_c + (Q \cdot N \cdot 5)}{Q \cdot N} \quad (5.14)$$

$$N_{cb} = \frac{196\,162,89 + 44\,139,6 + 140\,000 + 3\,172}{6 \cdot 4\,000} = 16 \text{ Kč}$$

Náklady na výrobu součásti se ziskem 20%:

$$N_{czisk} = N_{cb} \cdot 1,20 = 16 \cdot 1,20 = 19,2 \text{ Kč} \quad (5.15)$$

Celkové náklady na výrobu jednoho členu i se ziskem pro firmu je 19,2 Kč.

- Bod zvratu

Fixní náklady:

$$N_{fix} = M_c + N_n - M_{prac} \quad (5.16)$$

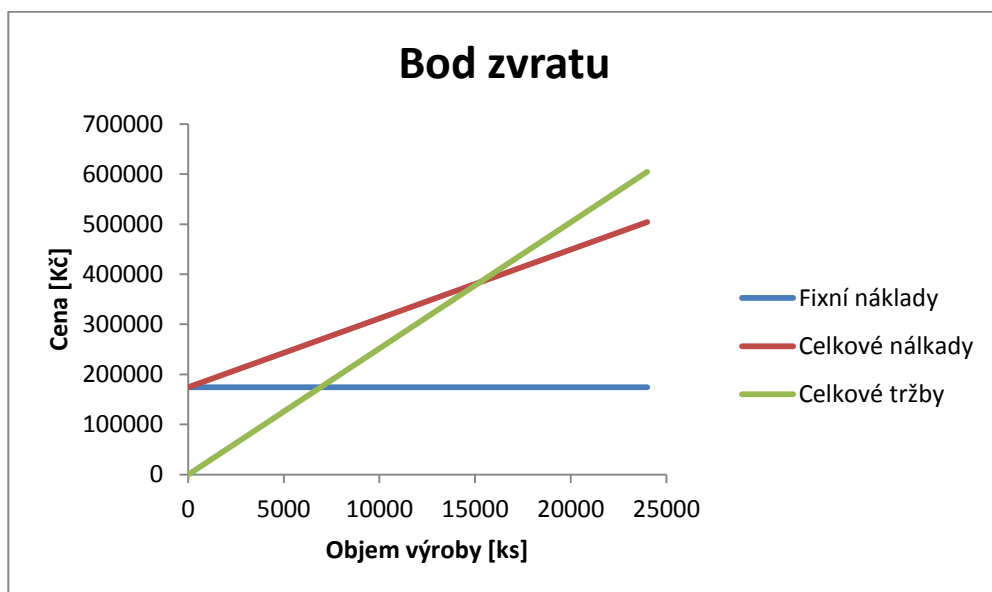
$$N_{fix} = 44\,139,6 + 140\,000 - 9\,808,8 = 174\,330,8 \text{ Kč}$$

Variabilní náklady:

$$N_{var} = C_v + \frac{M_{prac}}{N \cdot Q} = 8,17 + \frac{9\,808,8}{6 \cdot 4\,000} = 8,58 \text{ Kč} \quad (5.17)$$

Bod zvratu:

$$b_z = \frac{N_{fix}}{N_{czisk} - N_{var}} = \frac{174\,330,8}{25,2 - 8,58} = 16\,843 \quad (5.18)$$



Obr. 5.1 Graf bodu zvratu

Z obr. 5.1 a rovnice 5.18 vyplývá, že výrobce této součásti bude mít zisk po vyrobení 16 843 kusů vyráběné součásti a jelikož se jich během roku vyrobí 24 000 kusů. Výroba bude výnosná a veškeré investiční náklady jsou pokryty.

V rovnici 5.19 je vypočítán roční zisk bez daně.

Roční zisk:

$$Z_{rok} = (N \cdot Q - b_z) \cdot (n_{czisk} - n_{cb}) \quad (5.19)$$

$$Z_{rok} = (6 \cdot 4\,000 - 16\,843) \cdot (19,2 - 16) = 22\,908,4 \text{ Kč}$$

Celková tržba bez daně pro celou výrobu během roku je 22 908,4 Kč.

6 ZÁVĚRY

Práce obsahuje výrobu fixačního členu se zaměřením na technologie stříhání a ohýbání, které jsou hlouběji popsány v teoretické části literární studie. Pro výrobu součásti byly použity tabule plechu P3-3000x1500 mm z materiálu 11 373. Předpokládaná výroba je 24 000 kusů fixačních členů za rok.

Při návrhu výroby byly porovnány dva typy nástřihových plánů a oba vyšli při procentuálním využití tabule stejně (98%). Jelikož součást bude ohýbána na požadovaný tvar při výrobě, tak byla zvolena varianta č. 1 z důvodu kolmosti nejvíce namáhaného ohybu na směr vláken. Následně z tabule plechů byly nástřihány na strojních nůžkách polotovary 210x125 mm, která byly dále zpracovány na lisu v 5 přípravcích na finální tvar. Jelikož roční výroba není příliš velká a firma spotřebovává součásti během celého roku, tak byla zvolena kroková metoda výroby, která se ukázala jako nejlepší cesta, protože postupným odstřiháváním z polotovaru a maximálním využitím tabule plechu vznik minimální odpad.

Firma v minulosti zakoupila lis LEXN 100C, který byl využit pro výrobu součásti. Proto musely být provedeny výpočty všech technologických a funkčních částí nástrojů pro kontrolu. Z těchto výpočtů byla následně vytvořena výkresová dokumentace všech použitých nástrojů.

Pro výrobu jedné součásti byly vypočítány výrobní náklady 19,20 Kč, kde je započítán 20 % zisk pro firmu. Dále byl spočítán bod, kde dojde k pokrytí investice, který činí 16 843 ks/rok. Tento bod zvratu byl spočítán z celkových nákladů a celkové tržby. Při výrobě 24 000 kusů za rok plyne, že firma pokryje všechny investiční náklady a vydělá 22 908 Kč. Z těchto informací je patrné, že vlastní výroba při krokovém postupu je výhodná metoda výroby.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY [3]

1. Akademie tváření: Technologičnost konstrukce při ohýbání. *Nejčtenější strojírenský časopis - MM spektrum* [online]. 11.04.2012 [cit. 2014-05-12]. Dostupné z: [http://www.mmspektrum.com/content/100716_Akademie_tva%C5%99eni_oh%C3%BDb%C3%A1n%C3%AD\(1\).pdf](http://www.mmspektrum.com/content/100716_Akademie_tva%C5%99eni_oh%C3%BDb%C3%A1n%C3%AD(1).pdf)
2. BOBČÍK, Ladislav. *Střížné nástroje pro malosériovou výrobu*. Vyd. 1. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1983. 213 s.
3. *Citace* [online]. 2004 [cit. 2014-05-25]. Dostupné z: <http://www.citace.com/>
4. ČSN ISO 2768-1. *Nepředepsané mezní úchytky délkových a úhlových rozměrů*. Praha: Český normalizační institut, 1992. 8 s.
5. ČSN 22 6015. *Střihadla a střížné vřetě: Směrnice pro výpočet a konstrukci*. Praha: ÚMN, 1977. 28 s.
6. ČSN 22 7340. *Tvářecí nástroje: Ohýbadla*. Praha: Vydavatelství norem, 1991. 16 s.
7. ELNA Servis Počerady s.r.o. *ELNA Servis Počerady s.r.o.* [online]. 2009 [cit. 2014-05-23]. Dostupné z: <http://www.elnaservis.cz/voda.htm>
8. *Ferona: Velkoobchod hutním materiálem* [online]. 2004, 2014 [cit. 2014-05-22]. Dostupné z WWW: <http://www.ferona.cz/cze/katalog/order.php?eaction=show>.
9. FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. 1. vyd. Brno: Akademické vydavatelství CERM, s. r. o., 2006. 217 s. ISBN 80-214-2374-9.
10. FORMETAL PIESOK. *Formetal piesok* [online]. 2008 [cit. 2014-05-08]. Dostupné z: <http://www.formetal.sk/hydraul.-nc-noznice.html>
11. FREMUNT, P., J. KREJČÍK a T. PODRÁBSKÝ. *Nástrojové oceli (odborná kniha)*. 1. vyd. Brno: Dům techniky. 1994. 230 s.
12. INOX, spol. s r. o. *INOX, spol. s r. o. - NEREZOVÝ HUTNÍ MATERIÁL* [online]. 2009 [cit. 2014-04-23]. Dostupné z: <http://www.inoxspol.cz/nerezova-ocel-14301.html>
13. KRUTINA, Václav a Martina NOVOTNÁ. *Ekonomika podniku*. 1. vyd. České Budějovice: Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích Zemědělská fakulta, 2004. 112 s. ISBN 80-7040-732-8.
14. *Laserové řezání*. [online]. [cit. 2014-05-17]. Dostupné z: <http://vega.fjfi.cvut.cz/docs/sfbe/lasery/node8.html>.
15. *Laserové řezání (laser cutting)* [online]. 20.5.2011 [cit. 2014-05-17]. Dostupné z: <http://www.lao.cz/serial-laserove-rezani.htm>

16. LEINVEBER, Jan, Pavel VÁVRA a Jaroslav _ASA. *Strojnické tabulky*. 3. doplněné vydání. Praha: Scientia, spol. s.r.o. pedagogické nakladatelství, 1999. 985 s. ISBN 80-7183-164-6.
17. LENFELD, Petr. *Technologie plošného tváření - ohýbání* [online]. 2005 [cit. 2014-04-29]. Technologie II. Dostupné z WWW: <http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/07.htm>.
18. LENFELD, Petr. *Technologie plošného tváření - stříhání* [online]. 2005 [cit. 2014-04-29]. Technologie II. Dostupné z WWW: <http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/06.htm>.
19. LIDMILA, Zdeněk. *Teorie a technologie tváření I*. 1.vyd. UO Brno. 2008. 105 s. ISBN 978-80-7231-579-6
20. *Mechanické vlastnosti a chemické složení* [online]. 2010 [cit. 2014-04-23]. Dostupné z: http://www.valcovna-nh.cz/download/cz/03_cz.pdf
21. NAROS spol. s r.o. *NAROS spol. s r.o.* [online]. 15.6.2011 [cit. 2014-05-18]. Dostupné z: <http://www.naros.cz/view.php?cislocclanku=2011060003>
22. NOVOTNÝ, Josef a Zdeněk LANGER. *Stříhání a další způsoby dělení kovových materiálů*. Praha: SNTL, 1980. 216 s. L13-B3-VI-41/22674.
23. NOVOTNÝ, Karel. *Tvářecí nástroje*. 1. vyd. Brno: Nakladatelství VUT v Brně, 1992. 186 s. ISBN 80-214-04016.
24. PKIT Praha s.r.o. *PKIT Praha s.r.o.* [online]. 2008 [cit. 2014-05-23]. Dostupné z: <http://www.pkit.cz/rezani-vodnim-paprskem.php>
25. Řezání vodním paprskem: Wikipedie. *Řezání vodním paprskem: Wikipedie* [online]. 2010 [cit. 2014-05-17]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/%C5%98ez%C3%A1n%C3%AD_vodn%C3%ADm_paprskem
26. *Signum spol. s r.o.* [online]. 2006 [cit. 2014-04-23]. Dostupné z: <http://www.edb.cz/firma-159097-signum-moravsky-pisek>
27. SVOBODA, Pavel. *Výběry z norem pro konstrukční cvičení*. Vyd. 3. Brno: CERM, 2009, 223 s. ISBN 978-80-7204-636-2.
28. SYNEK, Miloslav, et al. *Podniková ekonomika*. 4. vydání. Praha: C.H.Beck, 2006. 475 s. ISBN 80-7179-892-4.
29. TST servis. *TST* [online]. 2005 [cit. 2014-04-23]. Dostupné z: <http://www.tstservis.cz/lexn100c.php>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ

Latinka

Značka	Význam	Jednotka
A	Tažnost	[%]
A _{ou}	Ohybová práce pro tvar “U“	[J]
A _{ov}	Ohybová práce pro tvar “V“	[J]
A _s	Střižná práce	[J]
b	Šířka materiálu	[mm]
b _z	Bod zvratu	[-]
c	Střední hodnota dosažení jakosti povrchu	[-]
C _{cod}	Celková cena za odpad	[Kč]
C _{ctp}	Celková cena tabulí plechu	[Kč]
C _e	Cena za energii	[Kč.kWh ⁻¹]
C _{hm}	Cena za kilogram hutního materiálu	[Kč]
C _{mat}	Cena materiálu	[Kč]
C _{od}	Cena za kilogram odpadu	[Kč]
C _v	Cena za jeden vyrobený kus	[Kč]
c ₀	Koeficient zohledňující materiál	[-]
d _k	Délka kroku	[mm]
d _s	Průměr nejmenšího střižníku	[mm]
d _t	Délka tabule	[mm]
E	Modul pružnosti v tahu	[MPa]
F _{ou}	Ohybová síla pro tvar “U“	[N]
F _{ov}	Ohybová síla pro tvar “V“	[N]
F _s	Střižná síla	[N]
F _{ss}	Střižná síla nejmenšího střižníku	[N]
h _{s3}	Nejmenší výška střižnice	[mm]
J	Kontrola na vzpěr	[mm ⁴]
J _m	Hodinový plat zaměstnanci	[Kč]
k	součinitel hloubkového tažení	[-]
l	Délka střižníku	[mm]
L _c	Celková délka prodloužení	[mm]
L _u	Vzdálenost mezi opěrami ohybnice	[mm]
L _v	Vzdálenost mezi opěrou ohybnice a ohybníkem	[mm]
L _{xi}	Délka prodloužení	[mm]
M _c	Celkové náklady na mzdu	[Kč]
m _{ctp}	Celková hmotnost výroby	[Kg]
m _{cv}	Celková hmotnost výrobku	[Kg]
m _{od}	Hmotnost odpadu	[Kg]
M _{prac}	Mzda pracovníka	[Kč]
m _{tp}	Hmotnost jedné tabule	[Kg]

Značka	Význam	Jednotka
m_v	Hmotnost jednoho výrobku	[Kg]
N	Počet sérií	[-]
n	Koeficient opotřebení	[-]
N_c	Celkové náklady na energii	[Kč]
N_{cb}	Náklady na výrobu bez zisku	[Kč]
N_{czisk}	Náklady na výrobu se ziskem	[Kč]
N_{fix}	Fixní náklady	[Kč]
n_h	Počet pracovních hodin	[hod]
N_n	Náklady na výrobu přípravků	[Kč]
N_{var}	Variabilní náklady	[Kč]
n_z	Počet zdvihů beranu	[-]
n_{zh}	Počet zdvihů beranka hodinu	[hod ⁻¹]
P_{ci}	Počet výstřižků s tabule	[ks]
P_{lis}	Příkon lisu	[kW]
P_p	Počet pásů	[ks]
P_v	Počet výstřižků	[ks]
Q	Počet kusů v jedné sérii	[ks]
R	Poloměr	[mm]
r	Poloměr neutrální osy	[mm]
R_e	Mez kluzu	[MPa]
R_m	Mez pevnosti	[MPa]
R_{max}	Maximální poloměr ohybu	[mm]
R_{min}	Minimální poloměr ohybu	[mm]
R_{sp}	Správné režie	[%]
$R_{výr}$	Výrobní režie	[%]
s	Tloušťka materiálu	[mm]
S_s	Střižná plocha	[mm ²]
S_t	Plocha tabule	[mm ²]
S_v	Plocha výstřižku	[mm ²]
\check{S}_k	Šířka kroku	[mm]
\check{S}_t	Šířka tabule	[mm]
t	Počet hodin ve směně	[hod]
V	Objem jedné tabule	[mm ³]
v	Střižná vůle	[mm]
V_{pi}	Procentuální využití tabule	[%]
x	Koeficient podílu R/s	[-]
X_p	Potřebný počet tabulí	[ks]
Z_{rok}	Roční zisk	[Kč]

Řecká abeceda

Značka	Význam	Jednotka
α	Úhel odpružení	[°]
β	Úhel ohybu	[°]
σ	Úhel úseku	[°]
ρ	Hustota	[Kg.m ⁻³]
τ_s	Střížný odpor	[-]

SEZNAM VÝKRESOVÉ DOKUMENTACE

2014-BP-145414/SOUČÁST	Výkres součásti
2014-BP-145414/01	Výkres sestavy 1
2014-BP-145414/02	Výkres sestavy 2
2014-BP-145414/03	Výkres sestavy 3
2014-BP-145414/04	Výkres sestavy 4
2014-BP-145414/05	Výkres sestavy 5